

OBERFLÄCHENHISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN DES ZAHNSCHMELZES

UNTER DER EINWIRKUNG VON FLUORIDEN UND ENZYMEN

von

DIETRICH KESSLER

1966

Aus der Konservierenden Abteilung (Leiter: Prof.Dr. J.Kluczka)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof.Dr. F.Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

OBERFLÄCHENHISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN DES ZAHNSCHMELZES
UNTER DER EINWIRKUNG VON FLUORIDEN UND ENZYMEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

DIETRICH KESSLER

aus Finsterwalde

MAINZ 1966

Dekan: Professor Dr. G. W. Korting

Referent: Professor Dr. J. Kluczka

Tag der mündl. Prüfung: 24. Januar 1966



Gesamtherstellung:

Ditters Bürodienst Mainz
Steingasse 19

INHALTSÜBERSICHT

1. Allgemeines
 - a) Zur Histologie des Schmelzes
 - b) Das Schmelzoberhäutchen
2. Oberflächenmikroskopische Untersuchungen am Zahnschmelz
 - a) Die Replica-Technik
 - b) Die Untersuchungstechnik
 - c) Das Bild der Schmelzoberfläche
3. Fluoride in der Zahnschutzhärtung
 - a) Allgemeines
 - b) Die Fluoridierungsmöglichkeiten
 - c) Fluor und seine Wirkungsweise in der Zahnschutzhärtung
 - d) Fluor im Lichte oberflächenmikroskopischer Untersuchungen
4. Fermente und ihre Wirkung im Lichte oberflächenmikroskopischer Untersuchungen
 - a) Amylase
 - b) Trypsin
 - c) Papain
 - d) Lipase
 - e) Pankreatin
5. Ergebnisse
6. Diskussion
7. Zusammenfassung
8. Literaturangaben

1. ALLGEMEINES

In der praktischen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde stehen in Anlehnung an Harndt, E. (1955) zwei Erkrankungsformen "dominierend im Vordergrund des Interesses". Das sind die Caries der Zähne mit ihren Folgeerkrankungen und die Parodontopathien. Beide führen bei fehlender oder unsachgemäßer Behandlung zum Verlust der Zähne.

Werden die cariösen Cavitäten zeitig und lege artis versorgt, kommen weite Gebiete der zahnärztlichen Chirurgie und Prothetik in Fortfall. Das gleiche trifft für die Parodontopathien zu. Selbst die Zahnerhaltungskunde würde bei einer erfolgreichen Füllungs- und Parodontaltherapie eine wesentliche Einschränkung erfahren.

Es ist daher in der gesamten Zahnheilkunde der Caries und den Parodontopathien, ihrer Ätiologie, Klinik und Therapie, insbesondere aber ihrer Prophylaxe unsere ganze Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Caries stellt dem Wesen nach eine nekrotische Epithelläsion dar, die der Schmelz von sich aus, wie etwa bei der Deckzellenproliferation von Haut und Schleimhaut, nicht wieder auszugleichen vermag. Auch das darunter befindliche Dentin als mesodermales Gewebe kann keine Reparation ausführen. Es besitzt keine Gefäße, und von der geschlossenen Pulpenkammer her sprossen weder in das Dentin noch in den Gewebsdefekt Kapillaren ein. D.h. die Hartgewebe des Zahnes sind nach ihrer Zerstörung weder regenerationsfähig noch können sie durch ein anderes Gewebe funktionstüchtig ersetzt werden. Wir wissen (Mühlemann, H.R. 1964, zit.n. König, K.G. 1964), daß "die cariöse Zerstörung der Zähne ein rein lokaler Vorgang" ist. "Je-
desmal, wenn den Bakterien in den Zahnbelägen mit der Nahrung Zucker oder andere Kohlehydrate zugeführt werden, bilden sie daraus im Rahmen ihres normalen Stoffwechsels Säuren, die den Zahn an der belagbedeckten Stelle angreifen und allmählich entkalken und zerstören. Zucker kann besonders schnell zu Säuren umgesetzt werden, und je öfter wir Zucker - besonders in klebriger Form - aufnehmen, desto häufiger wirkt der zerstörende Einfluß auf die Zähne ein und desto schneller verfällt das Gebiß". Mangel an Blutgefäßen im Schmelz und Dentin läßt jedoch den heteroplastischen Verschluß als Defektausgleich durch die Füllungstherapie des Zahnarztes zu.

In diesem Sinne stellen unsere Füllungen einen Dauerverband und Ersatz fehlender Zahnteile dar.

Seit der Amerikaner Dean, H.T. (1936) den zweckmäßigsten Fluorgehalt des Trinkwassers bestimmte, bei dem ein Optimum an Cariesresistenz ohne schädigende Folgen erreicht wurde, dominiert Cariesprophylaxe mittels Fluor neben der üblichen Füllungstherapie. Dean's sogenannte "21-Städteuntersuchung" zusammen mit Elvove, E. und F.A. Arnold durchgeführt, bildet noch heute die Grundlage jeder kollektiven Cariesprophylaxe mit Fluor.

Bramstedt, F. und Naujoks, R. (1962) haben gezeigt, daß bei kariesanfälligen Personen die "oral sugar clearance", d.h. das Verschwinden der Kohlehydrate aus der Mundhöhle, verlangsamt ist. Sie konnten beweisen, daß verminderte Fermentaktivitäten die Ursache für die verlangsamte "oral sugar clearance" sind. So fanden sie, daß im Mittel die Hexokinaseaktivität des Speichels kariesanfälliger Personen etwa nur ein Viertel der kariesresistenter Personen betrug. Ähnliche Werte stellten sie auch bei der Messung der Aldolaseaktivität fest. Durch diesen verlangsamteten Zuckerabbau im Speichel kariesanfälliger Personen verbleibt eine größere Menge von Glukose längere Zeit in der Mundhöhle. Diese steht dann den Plaques (= Belagsbildung), die sich auf den Zahnoberflächen bilden, zum Abbau zur Verfügung. In den Plaques wiederum kann es dann zu einer Vergärung der Glukose und anderer Zucker unter Entstehung von Milchsäure kommen. Je mehr Glukose den Plaques angeboten wird, desto mehr Milchsäure wird gebildet. Daraus ergibt sich, daß den Enzymen im Kariesgeschehen eine wichtige Rolle zukommt. Darüber hinaus fanden diese Autoren, daß die Sauerstoffaufnahme des Speichels Kariesanfälliger bedeutend geringer als die kariesresistenter Personen ist. Die Verbrennungsfähigkeit des Speichels von kariesresistenten Individuen für Substrate liegt also erheblich höher als die Kariesanfälliger.

Naujoks, R. (1964) stellte fest, daß durch niedrige Fluoridkonzentrationen im Speichel eine Beschleunigung des Kohlenhydratumsatzes erreicht werden kann. Diese bewirkt eine Verkürzung der Verweildauer von Zuckern in der Mundhöhle und führt zu einer Kariesreduktion.

In Anlehnung an König, K.G. (1962) sind folgende kariesprophylaktische Maßnahmen vorgeschlagen worden:

1. Hemmung der Bakterienbeläge
 - a) durch Nahrung von harter faseriger Konsistenz
 - b) durch Zähnebürsten
 - c) durch Beseitigen von Verhältnissen, die eine Belagretention begünstigen (Engstand, tiefe Fissuren, Hypofunktion).

2. Entzug des Substrats für die säurebildenden Plaquebakterien
 - a) durch allgemeine Kohlehydratbeschränkung bzw. Zuckerbeschränkung
 - b) durch bestmögliche Entfernung der kohlehydrathaltigen Nahrungsreste sofort nach jeder Nahrungsaufnahme.
3. Hemmung des Stoffwechsels der Bakterien und Unschädlichmachen der sauren Stoffwechselprodukte
 - a) durch Hemmung der Bildung von Bakterienbelägen
 - b) durch Substratentzug
 - c) durch antienzymatische und antibakterielle Einflüsse
 - d) durch Erhöhung der Pufferkapazität des Speichels
 - e) durch Erhöhung der Menge des Spülspeichels, der Substrat und Säuren abtransportiert.
4. Stärkung der Resistenz der Zahnhartsubstanzen
 - a) durch Mineral- und vitaminreiche vollwertige Ernährung, die optimale Schmelzbildung vor und nach dem Zahndurchbruch sichert
 - b) durch optimales Fluorangebot vor und nach dem Durchbruch
 - c) durch lebenslanges optimales Angebot aller Ionen (Phosphat, Calcium und Fluor), die zur Remineralisierung eventuell entstehender initialer Entkalkungen notwendig sind."

a) Zur Histologie des Schmelzes

Faserartige Elemente, die Schmelzprismen, und eine sie verbindende Kitt- oder Zwischensubstanz, die sogenannte interprismatische Substanz, bilden nach Meyer, W. (1958) zusammen den Schmelz. Letztere ist organischer Zusammensetzung. Im Querschnitt bilden die nebeneinanderliegenden Prismen eine bienenwabenähnliche Struktur. Die meisten dieser Prismen zeigen eine 6-seitige Form, selten kommt auch eine 5-seitige Form zur Beobachtung. Manchmal finden wir aber auch Querschnittsbilder, die Ähnlichkeit mit den Schuppen der Schmetterlingsflügel haben. Für diese Form von Querschnittsbildern hat sich die Bezeichnung "Arkadenform der Schmelzprismen" eingebürgert.

Wolf, J. (1942) behauptet, sie seien durch Ameloblastenverschiebung bei der Prismenbildung entstanden.

Die Schmelzprismen haben im Durchschnitt die Dicke von 4μ . Sie verlaufen vom Ort ihrer Bildung radiär zur Schmelzoberfläche. Jedoch ist ihr Verlauf

nicht immer und überall genau radiär. In den mittleren Partien des Schmelzes zum Beispiel nehmen sie eine mehr bogenförmige Gestalt an. Im Querschliff sehen wir dann die Konvexität des Bogens in rhythmischem Wechsel nach links und rechts ausgebildet. Und diese Bogenpartien lassen nun eine zebraähnliche Dunkelstreifung erkennen und werden nach ihrem Entdecker als Schreger'sche Streifen benannt.

Die einzelnen Schmelzprismen selbst sind in sich noch einmal gestreift. Diese Querstreifung oder Retziusstreifung entsteht nach Meyer, W. (1958) durch eine einmal stärkere und einmal schwächere Verkalkung und beruht auf einem bestimmten Tag- und Nachtrhythmus im Mineralstoffwechsel. Die Retziusstreifen münden fast alle vom Dentin aus ansteigend in die Schmelzoberfläche ein. Dort wo sie die Oberfläche erreichen, entstehen dann Vertiefungen, die zirkulär um den Zahn herum verlaufen und als Perikymatien bezeichnet werden.

An bestimmten Stellen des Schmelzes nun gibt es noch eine Erscheinung, die besondere Beachtung verdient. Es sind dies die sogenannten Büschelbilder und Schmelzlamellen. Und zwar sieht es so aus, als gingen vom Dentin her büschelige Fortsätze in den Schmelz. Jedoch haben diese Bilder nichts mit dem Dentin zu tun. Es sind vielmehr Blätter minderverkalkter interprismatischer Substanz, die unmittelbar auf dem Dentin aufsitzen und die ein Stück weit in den Schmelz hineinreichen.

Die Büschelbilder reichen bis zu einem Drittel in den Schmelz hinein. Einzelne gehen auch bis zur Schmelzoberfläche, wo sie mit dem Schmelzoberhäutchen, dem sie materiell nahestehen, fest verwachsen sind. Man nennt sie dann Schmelzlamellen. Diese Lamellen sind also nichts anderes als minderverkalkte interprismatische Substanz.

Die an der Schmelzoberfläche endenden Prismen und die interprismatische Substanz werden nun vom Schmelzoberhäutchen oder der Nasmyth'schen Membran überzogen.

Diese Cuticula dentis ist die letzte cuticuläre Bildung der Adamantoblasten. Sie stellt eine keratinähnliche Substanz in Form eines dünnen, stark lichtbrechenden Häutchens dar. Das Schmelzoberhäutchen bleibt normalerweise immer erhalten. Es wird lediglich durch Säuren jeder Art, einschließlich der Gärungssäuren, durch mechanische Insulte und durch starke Abrasion zerstört. Dieses Schmelzoberhäutchen nun bildet eine wesentliche Schutzfunktion für den Zahn. Es kann vielen Substanzen einen weitaus größeren Widerstand entgegensetzen, als die übrige Zahnschubstanz dazu in der Lage ist. In Anbetracht dieser wichtigen Funktion möchte ich hier noch näher auf das Schmelzoberhäutchen eingehen.

b) Das Schmelzoberhäutchen

In Anlehnung an Schüle, H. (1962, dort auch einschlägige Literatur) ist ein Häutchen beschrieben worden, das über dem Schmelz als "persistent dental capsule" vorhanden sei, und das seiner Entwicklung nach aus dem Bindegewebe des Zahnsäckchens stammen solle. Es wurde erstmals von Nasmyth, A. (1839) beschrieben, und man gab ihm deshalb auch den Namen "Nasmyth'sche Membran". Seit dieser Zeit nun ist diese Membran oft Grund zu Untersuchungen gewesen. Denn sie ist ja nun einmal das Bindeglied zwischen Zahnhartsubstanz und Mundschleimhaut. Außerdem ist sie ja auch der erste Angriffspunkt für kariogene Noxen verschiedenster Art und spielt deshalb bei allen Kariestheorien eine wichtige Rolle. Und im Rahmen dieser Theorien kommt dem Schmelzoberhäutchen seiner Struktur und seinem physikochemischen Verhalten nach eine besondere Bedeutung zu.

Das Nasmyth'sche Häutchen hat außen fibrösen Charakter und innen ein netzartiges Aussehen. Vor diesem Autor beschrieben schon Berzelius, J.J. (1837) und Retzius, A. (1837) eine Membran, die beim Entkalken von Zahnkronen übrigbliebe. Über die Entstehung dieses Häutchens herrschte jedoch noch Unklarheit. Die einen, zu ihnen gehörte auch Nasmyth, behaupteten, es sei eine zementartige Auflagerung des Zahnschmelzes. Auch Talbot, E.S. (1920) war dieser Ansicht. Die anderen, unter ihnen Erdl, M. (1841), Waldeyer, W. (1871), Paul, F.T. (1895) und auch Beretta, A. (1915) behaupteten, es sei ein Umwandlungsprodukt des Schmelzepithels. Ihrer Ansicht nach wandle sich das Schmelzepithel in ein Pflasterepithel um, verhorne dann und werde somit zum Schmelzoberhäutchen. Eine dritte Gruppe schließlich meint, das Schmelzoberhäutchen sei ein Ausscheidungsprodukt des Schmelzepithels. Kölliker, A. (1852) prägte auch erstmals den Begriff des Schmelzoberhäutchens. Als Gottlieb, B. (1921) behauptete, daß das Schmelzoberhäutchen keine einheitliche Membran, sondern ein doppelschichtiges Gebilde sei, kamen die Theorien wieder in Fluß. Gottlieb, B., Orban, B. (1926), Weski, O. (1922), Euler, H. (1923) sagten übereinstimmend, die Adamantoblasten würden nach Abschluß der Schmelzbildung eine Cuticula ausscheiden. Gottlieb, Orban, Higaki, R. (1931) und Westin, G. (1942) nahmen weiter an, daß außer dieser Cuticula durch Umwandlung des reduzierten Schmelzepithels das verhornte sekundäre Schmelzoberhäutchen entstehe. Dieser Ansicht war auch Weski, O. (1922). Er behauptete außerdem, daß sich das Schmelzepithel in das Taschenepithel umwandle. Nach Ansicht dieser Autoren gibt es also ein primäres und ein sekundäres Schmelzoberhäutchen. Die Untersuchungen all dieser Autoren wur-

den durch elektronenmikroskopische Untersuchungen von Ussing, H.J. (1955) bestätigt. Durch diese Untersuchungen wurde klar, daß die Adamantoblasten nach Abschluß der Schmelzbildung eine Cuticula bilden, die histologisch 1μ , elektronenmikroskopisch $0,2\mu$ dick ist. Diese Cuticula nun entspricht dem primären Schmelzoberhäutchen. Unmittelbar nach seiner Bildung beginnt die Reduktion des Schmelzepithels. Gottlieb, B. (1921), Orban, B. (1926) und Kronfeld, R. (1933) beobachteten, daß sich das reduzierte Schmelzepithel umwandle und oberflächlich verhorne. Dieses Plattenepithel wird dann als Epithelansatz bezeichnet. Die Hornschichten wurden von Häupl, K. (1925) nachgewiesen. Sie lagern sich nun dem primären Schmelzoberhäutchen als sekundäres Schmelzoberhäutchen auf. Das somit entstandene gemeinsame Schmelzoberhäutchen löst sich nun beim weiteren Zahndurchbruch vom reduzierten Schmelzepithel ab, wobei der basale Teil des Epithelansatzes zum Taschenepithel wird. Weski, O. (1922) dagegen vertrat die Ansicht, daß das sekundäre Schmelzoberhäutchen nicht ein Verhornungsprodukt, sondern ein Sekretionsprodukt der Epithelzellen sei, ebenso Lehner, J. (1931). Über die Existenz und Genese des sekundären Schmelzoberhäutchens besteht also noch keine einheitliche Auffassung. Nur über die Adamantoblastencuticula ist man sich einig, und sie wird auch allein meistens als eigentliches Schmelzoberhäutchen betrachtet.

Werfen wir nun noch einmal einen Blick auf die dentale Seite des Oberhäutchens, so fällt uns eine netzartige Zeichnung auf, deren Größenverhältnisse und Formen den Schmelzprismen entsprechen. Auf der oralen Seite dagegen finden wir unter anderem Bakterienauflagerungen, die nicht zum Schmelzoberhäutchen gehören.

Die Dickenangaben der Nasmyth'schen Membran schwanken beträchtlich. Sie variieren zwischen $0,8\mu$ und 10μ . Das Schmelzoberhäutchen ist stark lichtbrechend, und da es dauernd dem mechanischen Abrieb ausgesetzt ist, vertreten manche Autoren die Ansicht, es ginge sehr schnell verloren. Weski dagegen behauptet, die Adamantoblastencuticula bleibe bis auf wenige Abrasionsstellen das ganze Leben über erhalten.

Die Häufigkeit, mit der das Schmelzoberhäutchen in bezug auf das Lebensalter auftritt, wurde bisher nur von Higaki, R. (1931) untersucht. Er fand, daß das Schmelzoberhäutchen im Alter von 10 - 20 Jahren in fast allen Fällen vorhanden war. Bis zum 60. Lebensjahr geht dann das Auftreten des Häutchens fast bis auf 0 zurück. Es wurde jedoch in neuerer Zeit auch bei Menschen höheren Alters eine Membran gefunden, die die Schmelzoberfläche bedeckt. Es sind vor allem Vallotton, C.F. (1945), Kleine, H. (1951) und Klees, L. (1958), die diese Membran beschreiben. Man vermutet deshalb, daß es zu

einer gewissen Regeneration des verlorengegangenen Schmelzoberhäutchens kommt. Nach verschiedenen Autoren ist das Schmelzoberhäutchen fest mit der interprismatischen Substanz verbunden. Nach Weski, O. (1922) gehen auch die Schmelzlamellen kontinuierlich in das Schmelzoberhäutchen über.

Über den Verkalkungsgrad des Schmelzoberhäutchens bestehen verschiedene Auffassungen. Weski, O. (1922) und Kronfeld, R. (1933) behaupten, es sei meistens verkalkt. Baume, L. (1952) sagt, es sei nur teilweise verkalkt. Euler, H. (1923) dagegen behauptet, es sei überhaupt nicht verkalkt. Die Abriebsfestigkeit des Schmelzoberhäutchens entspricht etwa der des Schmelzes. Bei Stufe 4 (Bimsstein) erfolgt meistens, bei Stufe 5 (Quarz) stets Abrieb.

Gies, W.J. (1926) erbrachte bei der Frage nach der stofflichen Zusammensetzung des Schmelzoberhäutchens den Nachweis von Polypeptidbindungen, von Tyrosin und Tryptophan. Zuber, A. (1948) bestätigte den Nachweis von Tyrosin.

Quantitative Bestimmungen der organischen Substanz des Schmelzoberhäutchens wurden von Losee, F.L. und Hess, W.C. (1949) durchgeführt. Sie kamen bei ihren Untersuchungen zu dem Schluß, daß der Proteinanteil dieser äußersten Schicht des Schmelzes, des Schmelzoberhäutchens nämlich, viel höher sein muß als der des Gesamtschmelzes. Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Savory, A. und Brudevold, F. (1957) überein.

	Cy	Me	Phe
Schmelzoberhäutchen	0,94 %	1,11 %	5,1 %
Gesamtschmelz	0,60 %	1,01 %	6,2 %

Tabelle 1. Aminosäuren im Schmelzoberhäutchen nach Schüle, H. (1963, S.26)

Wir sehen also, daß der Cystingehalt des Schmelzoberhäutchens mit 0,94 % wesentlich höher liegt als der des entsprechenden Gesamtschmelzproteins mit 0,60 %.

Nachdem nun in den vergangenen Kapiteln etwas über die Histologie und stoffliche Zusammensetzung der äußersten Schmelzschicht gesprochen wurde, soll im folgenden nun auf die Möglichkeiten ihrer optischen Darstellung eingegangen werden.

2. OBERFLÄCHENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN AM ZAHNSCHMELZ

Alle bisherigen Methoden, vor allem die Untersuchung der Oberfläche des Zahnes im auffallenden Licht mit Hilfe des Opakilluminators nach Friedberg, H. (1922) und Freiberg, K. (1939), haben keine oder aber nur wenig Details im Oberflächenrelief erfaßt. Auch noch nachdem gewisse Lichtreflexe mit Polarisationsfiltern ausgeschaltet waren. In dem optisch inhomogenen Schmelz dringen die Lichtstrahlen ein, werden an den einzelnen Bestandteilen gebrochen und vollkommen diffus reflektiert. Dadurch wird natürlich das Oberflächenrelief stark verwischt. Wolf, J. (1939) kam dann auf die Idee, die in der Metallographie bewährte Replica-Methode zur Untersuchung der Zahnoberfläche heranzuziehen.

Er entwickelte ein eigenes Verfahren, das an anderer Stelle noch näher besprochen wird. Man nimmt bei der Replica-Methode einen durchsichtigen Abdruck von der zu untersuchenden Fläche und betrachtet diesen dann im durchfallenden Licht. Nach Scott, D.B. und Wyckoff, R.W.G. (1947) erstreckt sich die Wiedergabe der Details bis in den Auflösungsbereich des Elektronenmikroskops. Das Verfahren ist also geeignet, kleinste Veränderungen der Zahnoberfläche zu erfassen. Die Abdruckgenauigkeit ist so gut, daß durch die Replica-technik alle Strukturen im Auflösungsbereich des Lichtmikroskops zumindest gut wiedergegeben werden. Nach Palladiumbedampfung kann man diese Abdrücke dann, wie schon gesagt, für elektronenoptische Untersuchungen benutzen. Bei der Deutung der Bilder muß jedoch stets berücksichtigt werden, daß nur die Form der Oberfläche dargestellt wird. Schlüsse über die stoffliche Natur des untersuchten Substrats müssen dabei vermieden werden. Und wenn dies beachtet wird, dann ist diese Methode zur Registrierung von Veränderungen der Zahnoberfläche vorzüglich geeignet.

a) Die Replica-Technik

Als Abdruckmaterial verwendeten:

Wolf, J. (1939) und Oidtmann, A.M.J. (1948) Zelluloid in Aceton.

Scott, D.B. (1952) und Wyckoff, R.W.G. (1946) Kollodium-Amylacetatlösung.

Rheinwald, U. und Staehle, G. (1949) Paladonflüssigkeit (Methacrylatmonomer), Heuser, H. (1952) Plexiglas in Chloroform.

Wolf war es also, der im Jahre 1939 in Prag erstmals die Technik der oberflä-

chenhistologischen Verfahrens anwandte. Während man bisher zu Untersuchungen des Zahngewebes Schliffe und entkalkte und gefärbte Schnitte benutzte, konnte man nun mit Hilfe der Replica-Technik eine zusammenhängende und ins einzelne gehende Untersuchung der Zahnoberfläche durchführen.

Die von Wolf entwickelte "Adhäsionsreliefmethode" besteht in der Auflagerung einer hauchdünnen Schicht Celluloid-Acetonlösung auf die zu untersuchende Zahnoberfläche. Nachdem dann das Lösungsmittel verdunstet ist, wird das erstarrte Celluloidhäutchen abgezogen und auf einen Objektträger aufgebracht. Dann wird dieser Abdruck im durchfallenden Licht betrachtet. Diese Methode wurde von Häuser genauestens untersucht und dabei wurde festgestellt, daß das so gewonnene Bild hinsichtlich seiner plastischen Wiedergabe und Kontrastbildung noch nicht zufriedenstellend war. Deshalb nahm Heuser, H. (1952) anstelle von Celluloid-Aceton eine Lösung von Plexiglas (Bayer-Basisplatte) in Chloroform. Die Wiedergabe des Oberflächenreliefs war damit bedeutend klarer.

Bei unseren Versuchen kommt nun die Modifikation nach Scott, D.B. (1952) und Wyckoff, R.W.G. (1946) zur Anwendung, welche von Pantke, H. (1956) verbessert wurde.

Als Abdrucklösung benutzen wir:
eine 4%ige Kollodiumlösung
Amylacetat und
Äther wasserfrei

Als Abdruckstreifen:

15 ml der Kollodiumlösung werden in einer Petrischale von 9 cm Durchmesser ausgegossen. Die Petrischale muß vorher mit Hilfe einer Wasserwaage genau waagerecht eingestellt werden, um eine in ihrer Stärke vollkommen gleichmäßige Folie zu bekommen. Außerdem muß die Schale abgedeckt werden, damit keine Verunreinigungen in oder auf die Folie gelangen können. Nach dem Verdunsten des Lösungsmittels wird die Folie von der Petrischale abgelöst (notfalls mit etwas destilliertem Wasser nachhelfen) und in Streifen geeigneter Größe geschnitten.

b) Untersuchungstechnik

- a) Die zu untersuchende Schmelzoberfläche wird mit einer Bürste gereinigt, mit Aceton entfettet und getrocknet.
- b) Die Kollodiumlösung wird mit Äther und Amylacetat zu einer gutflüssigen Lösung angerührt. (Nicht zuviel Äther nehmen, da sonst starke Blasenbildung).

- c) Von dieser Lösung einen Tropfen auf die zu untersuchende Stelle geben. (Stelle vorher mit Diamant markieren).
- d) Einen kleinen Kollodiumstreifen (siehe voriges Kapitel) auf den Tropfen auflegen und den Streifen leicht andrücken.
- e) Den Zahn unter einer Lampe trocknen und nach etwa 20 Minuten den Abdruck von der Schmelzoberfläche abziehen (notfalls unter Zuhilfenahme eines Tropfensdestillierten Wassers).
- f) Der Abdruck wird zurechtgeschnitten und ohne Einschlußmedium zwischen Objektträger und Deckglas eingeschlossen. Dabei muß das Relief zum Objektträger zu liegen kommen.
- g) Das Ganze wird dann mit Tesafilm umrandet.

Um einen einwandfreien Abdruck zu bekommen, ist noch zu beachten, daß das Abdruckmaterial und der Untersuchungsraum keine Temperatur über 20°C erreichen.

Die Betrachtung des Präparates mit dem Mikroskop erfolgt im durchscheinenden Licht. Stellt man die Blende möglichst eng, so zeigt sich die Struktur der oberflächlichen Schichten. Ein gutes Reliefbild erhält man, wenn man einen schrägen Lichteinfall wählt. Dies erreicht man durch ein exzentrisches Einstellen des Kondensors oder durch Seitwärtsverschieben des Spiegels. Durch diese schräge Beleuchtung sieht man dann ein besonders plastisches Reliefbild der Zahnoberfläche. Die Plastik des Bildes kann man eventuell mit Hilfe eines Blaufilters noch verbessern. Was aber bietet sich nun unserem Auge, wenn wir einen solchen Abdruck, nach der Replica-Technik hergestellt, unter dem Mikroskop betrachten?

c) Das Bild der Schmelzoberfläche

Nach Meyer, W. (1958) beobachten wir zahlreiche ringförmig um die Krone herum verlaufende Wülste, Perikymatien genannt. Die zwischen den einzelnen Perikymatien liegenden Einsenkungen werden Imbrikationslinien genannt. Und jeweils zwischen zwei Perikymatien, das heißt also an einer Imbrikationslinie, mündet ein Retziusstreifen. Man hat den Eindruck, als ob jeweils die apicale Schicht die occlusale Schicht überlagern würde. Es sieht aus, als ob sie sich dachziegelartig überlagern. Die Perikymatien erscheinen im Reliefbild wie schiefe Ebenen, die von cervical nach incisal aus dem Oberflächenniveau des Zahnes heraustreten und dann plötzlich abbrechen, worauf sich dann die nächste schiefe Ebene aus dem Oberflächenniveau heraushebt. Der plötzliche Abbruch dieser schiefen Ebenen wird nach incisal immer unschärfer. Die Zahn-

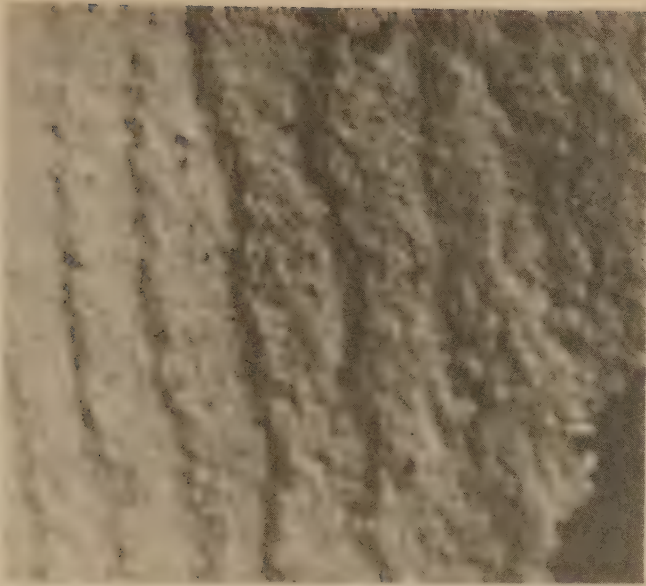


Abb.1 Schmelzoberfläche (Vergr. 1 : 80), bei der nahezu sämtliche Prismenenden in Nasmyth'scher Substanz eingegossen sind. Die Grübchen, die auf den Perikymatien in einer Vielzahl zu sehen sind, entsprechen den Prismenenden. Die dunkle Stelle auf der rechten Bildseite stellt eine artifizielle Marke dar, um jeweils unter dem Mikroskop dieselbe Stelle wiederfinden zu können.

oberfläche nimmt occlusalwärts einen zunehmend mehr welligen Verlauf mit gleichförmigen Wellen und Furchen. Die Oberfläche einer solchen schiefen Ebene ist im cervicalen Bereich des Zahnes verhältnismäßig glatt und nur von einem kaum sichtbaren wabenförmigen Relief überzogen. Nach incisal dagegen erscheint die Wabenstruktur immer deutlicher. Der Durchmesser dieser Waben beträgt im Durchschnitt etwa 4μ . Bei älteren Zähnen kann man die wellenförmige Oberflächengestaltung oft nicht erkennen. Ebenso wenig das wabenförmige Relief. Stattdessen beobachtet man an ihrer Stelle flächenhafte Deckschichten oder eine rauhe, körnige Oberflächenstruktur.

Betrachten wir nun das netzförmige Relief auf den Perikymatien etwas näher. Es umschließt, wie schon gesagt, etwa sechseckige Felder von etwa 3 bis 4μ Durchmesser. Während nun das netzartige Relief im Original erhaben ist, liegen die Felder dazwischen vertieft. Wolf, J. (1942) erklärte die erhabene Netzstruktur als Fortsetzung der interprismatischen Substanz. Er behauptete, die Adamantoblasten hätten, nachdem sie ihre Tätigkeit als Prismenbildner einstellten, noch einige Zeit weiter interprismatische Substanz gebildet.

Und zwar, so sagte Wolf weiter, hätten die Adamantoblasten im occlusalen Teil des Zahnes nur kurze Zeit, im cervicalen Teil dagegen längere Zeit diese interprismatische Substanz gebildet. Und dadurch, daß im cervicalen Bereich die interprismatische Substanz auch über den Prismenköpfen zu sehen ist, infolge der längeren Bildung dieser Substanz, dadurch erscheinen dann die Perikymatien in der Cervicalregion ausgeglichener als die in der Occlusalregion. Wolf bezeichnete nun die über dem Niveau der Prismenköpfe liegende Substanz einfach als Nasmyth'sche Substanz.

Weiterhin kann man auf dem Oberflächenrelief gelegentlich kleine Vorwölbungen von 1 bis 4 Prismendurchmessern oder kleine Einsenkungen von 1 bis 3 Prismendurchmessern beobachten.

Diese Veränderungen sind nach Wolf, J. (1942), Scott, D.B. (1952), Heuser, H. (1952) und Pantke, H. (1956) auf eine unregelmäßige Tätigkeit der Adamantoblasten zurückzuführen. Während die Vorwölbungen auf eine prolongierte Tätigkeit einzelner Adamantoblasten hindeuten, werden die Einsenkungen mit einem vorzeitigen Erlöschen der Adamantoblastentätigkeit erklärt.

3. FLUORIDE IN DER ZAHNSCHUTZ-HÄRTUNG

ALLGEMEINES

1875 hat Erhard auf dem 14. Kongreß des Zentralvereins der deutschen Zahnärzte auf die karieshemmende Wirkung des Fluors hingewiesen. Crichton und Browne erklärten 1892, daß Kariesanstieg und Fluormangel identisch seien. 1896 wies dann Denninger auf seine Ergebnisse mit Hilfe der Fluorkalium-tabletten hin. 1906 beschreibt Black, G.V. den "mottled enamel". McCay, I.S. (1908) berichtet, daß dieser gefleckte Schmelz vom Trinkwasser herühre. Black und McCay stellten fest, daß Zähne mit geflecktem Schmelz auffallend wenig Karies zeigten. Churchill gibt an, daß das Fluor-Ion die Ursache für die beobachteten Schmelzflecken sei. Smith, M.C. (1933) konnte auf Grund verbesserter Analysenmethoden nachweisen, daß das regionale Auftreten von geflecktem Schmelz auf einen erhöhten Fluorgehalt des Wassers zurückzuführen sei. Die Schmelzflecken seien aber nur dort ausgebildet, wo der Fluorgehalt des Wassers 2,5 mg pro Liter übersteigt.

Dean, H.T. und Elvove, E. (1941) stellten dann fest, daß der Gehalt von 1 mg Fluor pro Liter Trinkwasser für die kariesprophylaktische Wirkung am günstigsten sei. Und 1942 gab Dean dann bekannt, daß 1 mg F pro Liter Trinkwasser die Karies um rund 60% herabzusetzen vermag. Eine Periode kontrollierter Versuche begann 1945 in Grand Rapids und Newburgh. Es folgten Versuche in Brantford, wo das Trinkwasser 1945 erstmalig fluoridiert wurde. Zahlreiche Länder übernahmen die Wasserfluoridierung neben anderen Applikationsmethoden" (zit. n. Eichler, O., Korkhaus, G., Sauerwein, E. und Franke, M. 1961).

a) Die Fluoridierungsmöglichkeiten

Nach Mühlemann, H.R. (1962) stehen uns heute folgende Methoden zur kollektiven Kariesprophylaxe zur Verfügung:

1. Fluoridierung des Trinkwassers
2. Fluoridierung des Haushaltssalzes
3. Fluoridierung der Konsummilch
4. Fluoridierung mittels Tabletten
5. Fluoridierung durch Lokalapplikation
6. Fluoridierung mit Kombinationsverfahren

Bei der Verwirklichung einer Kollektivprophylaxe sind ganz allgemein folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- | | |
|--|--------------------------------|
| a) Unschädlichkeit | e) Kosten |
| b) Wirksamkeit | f) Ausbaumöglichkeit |
| c) Universalität | g) Kombinierbarkeit |
| d) techn.organisatorische Durchführbarkeit | h) Einführung und Konsequenzen |
| | i) Freizügigkeit |

Mühlemann behauptet, daß durch eine künstliche Trinkwasserfluoridierung bei optimalen Bedingungen der Kariesbefall um etwa 40 - 50% gesenkt werden kann. Die Fluorzufuhr muß dabei aber während des ganzen Lebens anhalten. Eine Dosierung von 1 mg F pro Liter Trinkwasser führt dabei bei lebenslänglicher Zufuhr zu keinen gesundheitlichen Schädigungen. Da im Durchschnitt die totale Flüssigkeitszufuhr bei 6 - 8 Jährigen ca. 2 Liter beträgt, so liegt die mittlere Fluorzufuhr bei 2 mg pro die.

In der Bundesrepublik wurde die Trinkwasserfluoridierung in Kassel eingeführt. Nach Heuser, H. (1962) stellte man nach zwei bzw. vier Jahren fest, daß bei Kindern ein langsam, aber stetig wachsender Erfolg im Kampf gegen die Karies zu verzeichnen ist.

Marthaler, T.M. (1960) kam bei seinen kariesstatistischen Untersuchungen über die Trinkwasserfluoridierung zu folgenden Ergebnissen: .

- "1. Zähne, die durch fluorhaltiges Trinkwasser prae-eruptiv beeinflusst wurden, besitzen bei ihrem Durchbruch eine deutlich erhöhte Kariesresistenz, die jedoch im Laufe der Jahre allmählich wieder verlorengelht. Der Schutz muß deshalb als reversibel angesehen werden.
2. Zähne, die erst von ihrem Durchbruch an mit fluorhaltigem Trinkwasser in Berührung kommen, weisen ebenfalls einen deutlich verminderten Kariesbefall auf.
3. Zähne, die schon mehrere Jahre unter fluorarmen Mundbedingungen gestanden haben, können durch fluorhaltiges Trinkwasser kaum mehr beeinflusst werden."

Weiterhin stellt Marthaler fest, daß mehr als die Hälfte der zu erwartenden Kariesshemmung im bleibenden Gebiß noch erreicht wird, wenn die Trinkwasserfluoridierung im Alter von 5 Jahren einsetzt. Und mit jedem Jahr, um das ihr Beginn vor das 6. Lebensjahr verlegt wird, nimmt der Schutz weiter zu.

Die Phasen, in denen nach Mühlemann, H.R. (1960) und Marthaler, T.M. (1960) der Schmelz mit Fluor angereichert werden kann, sind einmal

die Zeit der Bildung der organischen Grundsubstanz und der unmittelbar darauffolgenden primären Mineralisation. Der Fluorgehalt des Schmelzes erreicht in dieser Phase, relativ unabhängig von der Höhe des Fluorangebots, keine hohen Werte. Die zweite Phase dauert von der Erschöpfung der Ameloblastentätigkeit mehrere Jahre bis zum Zahndurchbruch. Sie umfaßt die ganze Zeit der praeruptiven Reifungsverkalkung des Schmelzes. Die Fluoraufnahme erfolgt während dieser Phase vornehmlich von der Oberfläche des im Kiefer auf seinen Durchbruch wartenden Zahnes aus. Sehr wahrscheinlich über die Interstitialflüssigkeit vom Perikoronarraum her. Die dritte Phase ist die posteruptive Phase. Die Fluoraufnahme erfolgt nach dem Durchbruch von der Mundflüssigkeit her. Nach den bisherigen Ergebnissen und Versuchen sind die Wirksamkeit und Unschädlichkeit einer Trinkwasserfluoridierung als sicher zu bezeichnen. Schwieriger schon wird die Frage der Kosten und der Einführbarkeit sein. Auch ist die Freizügigkeit bei einer zentralen Trinkwasserfluoridierung nicht mehr gewährleistet. Wir hätten es mit einer staatlich gelenkten Gesundheitsvorsorge zu tun, und die Entscheidungsfreiheit des einzelnen Individuums, für seine Gesundheit Vorsorge zu treffen, wäre aufgehoben. Außerdem wäre die technisch-organisatorische Durchführbarkeit nur bei zentraler Trinkwasserversorgung gewährleistet. Man hat deshalb auch in Amerika die Erfahrung gemacht, daß bestensfalls 1/3 der nationalen Bevölkerung durch eine Trinkwasserfluoridierung erreicht werden kann. Dagegen kann durch ein fluoridiertes Kochsalz die gesamte Bevölkerung ohne Schwierigkeiten versorgt werden. So soll dies zum Beispiel nach Baume, L.J. (1964) in Französisch-Polynesien geschehen, um die dort herrschenden katastrophalen Gebißverhältnisse der dort lebenden Menschen zu verbessern. Eine Trinkwasserfluoridierung käme hier überhaupt nicht in Frage.

In der Schweiz wurden umfangreiche Versuche mit fluoridiertem Kochsalz angeführt. Nach Wespi, H.J. (1956) mußte das Fluor einem täglich gebrauchten Lebensmittel zugesetzt werden, um zu einer wünschenswerten Erhöhung der Fluoraufnahme zu kommen. In den Kantonen Zürich, Schaffhausen und Aarau wurde deshalb ein Fluorvollsatz in Kilopaketen mit 200 mg NaF und 10 mg KJ (Kaliumjodid) pro Kilo eingeführt. Somit steht das Fluorsalz einem Gebiet mit mehr als einer Million Einwohnern zur Verfügung. Wespi betont auch, daß die Fluoridierung des Salzes wohl das billigste und auch das einfachste und am leichtesten zu kontrollierende Verfahren sei. Es wurden nach Wespi inzwischen chemische Untersuchungen angestellt, aus denen ersichtlich wurde, daß die Zähne der Fluorvollsatzkinder wesentlich mehr Fluor aufweisen als die der Kontrollkinder. So enthielten die Milchzähne der Fluorkinder zwischen 122 und 256 Gamma Fluor pro Gramm Substanz. Die Zähne der Kontrollkinder aber nur 26 - 34 Gamma Fluor pro Gramm Substanz.

Zähne aus einem ausgesprochenen Fluorosegebiet weisen etwa 166 - 528 Gamma auf. Fluorose tritt in Gegenden mit von Natur aus stark fluorhaltigem Wasser auf und in Gegenden mit künstlich fluoridiertem Wasser. Es sind Schmelzopacitäten, die meist nur sehr schwach ausgebildet sind und bei schwachem Licht fast unsichtbar sind.

Nach Russel, A.L. (1962) bestehen diese Opacitäten aus kleinen Flecken oder aus einem feinen spitzenartigen Netzwerk aus feinen weißen Linien. Die Flecken befinden sich oft in der Nähe der incisalen Ränder oder auf der Spitze des Zahnes. Ihre Farbe ist papierweiß. Fluorose bei Milchzähnen ist ganz selten.

Auch bei der Salzfluoridierung sind also Wirksamkeit und Unschädlichkeit erwiesen. Die Kosten sind gering, die Durchführbarkeit bietet ebenfalls keine Schwierigkeiten. Auch wäre die Freizügigkeit erhalten, indem es jedem einzelnen überlassen bleibt, das fluoridierte Salz oder ein anderes zu kaufen.

Die dritte Methode, um die Bevölkerung mit ausreichender Menge an Fluor zu versorgen, wäre die Fluoridierung der Konsummilch. Nach Ziegler, E. (1956) wäre diese Methode das gegebene Mittel, um überall dort, wo aus technischen, finanziellen oder psychologischen Gründen eine Fluoridierung des Trinkwassers nicht in Frage kommt, zu einer Kariesreduktion in großen Teilen der Bevölkerung zu kommen. Er behauptet weiterhin, daß eine Fluorzugabe von 1 mg pro Liter Milch den prophylaktischen Bedürfnissen aller Altersstufen am besten entspricht. Auch wird die Milch durch den Fluorzusatz weniger beeinträchtigt als zum Beispiel durch das Aufkochen oder Pasteurisieren. Ein Hauptvorteil der Milchfluoridierung liegt vor allem darin, daß dieses Nahrungsmittel gerade von den Teilen der Bevölkerung am meisten genossen wird, die einen Fluorzusatz ganz besonders benötigen, die heranwachsenden Kinder nämlich. Dagegen zeigte sich, daß bei einer Kochsalzfluoridierung die Säuglinge z.B. keinen, die Kinder unter 2 - 3 Jahren nur einen sehr kleinen und selbst die größeren Kinder oft nur einen sehr ungenügenden F-Zusatz erhalten.

Die praktische Anwendung kann einmal in jedem Haushalt durchgeführt werden, indem der Milch eine gewisse NaF-Menge zugesetzt wird, oder aber die Fluoridierung wird zentral als kollektive Maßnahme durchgeführt. Die Kosten dieses Verfahrens wären gering.

Kästli, P. (1956) dagegen betont, daß eine allgemeine Fluoridierung der Konsummilch z.B. in der Schweiz nicht durchführbar sei, da keine genügend zentralisierte Milchversorgung durch Molkereien und auch keine umfassende Schulmilchabgabe besteht. Er befürwortet deshalb die Abgabe einer fluorier-

ten Milch mit einer für den Konsumenten gut ersichtlichen Deklaration in Form einer Spezialmilch. Bei einem Zusatz des Fluors zur Milch im Haushalt kann es zu Irrtümern und somit zu Fehldosierung kommen.

Auch die Fluoridierung mit Hilfe von Tabletten oder durch lokale Applikation auf die Zähne sind keine Universalverfahren. Die Wirksamkeit beider Verfahren ist aber gesichert. Die Kosten sind gering, und die Freizügigkeit bleibt erhalten.

Auch Hürny, Th. (1962) tritt für eine Fluorprophylaxe in Form einer Tablettenabgabe an die Kinder ein. Er beschreibt, daß in all den Gebieten, wo die Kinder 12 Jahre hindurch regelmäßig die Tabletten einnahmen, praktisch Kariesfreiheit herrsche.

Mühlemann, H.R. (1962) betont, daß unter der Voraussetzung einer erwünschten universalen, alle erfassenden Kariesprophylaxe keines der erwähnten Fluoridierungsverfahren für sich allein in der Lage ist, sämtlichen Anforderungen gerecht zu werden. Er schlägt deshalb Kombinationsverfahren vor, die das angestrebte Ziel erreichen könnten. Er kombiniert z.B. eine Trinkwasserfluoridierung in größeren Städten und Gemeinden mit einer Tablettenfluoridierung in nichttrinkwasserfluoridierbaren Orten. Eine andere Möglichkeit sieht er in einer generellen Einführung der lokalen Fluoridierung kombiniert mit einer kollektiven Kochsalzfluoridierung.

Auch im Tierexperiment wurde die Wirkung des Fluors gezeigt. König, K.G., Marthaler, T.M. und Mühlemann, H.R. (1956) stellten Versuche mit 719 Albinoratten an, die NaF

- a) im Trinkwasser,
- b) in der Milch und
- c) im Futter

verabreicht bekamen. Dabei wurde das Fluor einmal während der Zahnentwicklung verabreicht, zweitens unmittelbar nach dem Zahndurchbruch, und drittens kam es auf dem bereits ausgereiften Schmelz lokal zur Einwirkung. Dabei wurde bei all diesen Versuchen die kariesprophylaktische Wirksamkeit des Fluors sowohl im Trinkwasser als auch in der Milch und im Futter bewiesen.

Bei den Tieren wurden innerhalb von 10 Tagen mit Hilfe einer kariogenen Kost kariöser Schmelz und Dentinläsionen erzeugt. Gleichzeitig wurden Kontakthemmstoffe wie NaF und SnF_2 gegeben. Die kariesprophylaktische Wirkung dieser Kontakthemmstoffe ist dann bei der kurzfristigen Experimentalzeit sowohl in bezug auf die Zahl als auch die Schwere der Läsionen feststellbar.

b) Fluor und seine Wirkungsweise in der Zahnschutzhärtung

Armstrong, W.D. und Brekhus, P.J. (1937) stellten fest, daß im Schmelz wie auch im Dentin kariöser Zähne weniger F enthalten sei als in gleichen Geweben kariesfreier Zähne. Es wurde der Schmelz von je 50 Zähnen einzeln untersucht. Gesunde Zähne hatten im Schmelz 0,011 % F, (Deviation 0,002 %), während im Schmelz kariöser Zähne im Durchschnitt nur 0,0069 % F (Deviation 0,0011 %) enthalten war. Das Alter der Patienten, von denen die Zähne stammten, betrug im Durchschnitt 40 Jahre. Nach den gleichen Autoren enthält der Schmelz von gesprenkelten Zähnen zwischen 0,0248 % und 0,036 % F. Die Stärke des "mottling" hängt also ab von der Höhe des F-Gehaltes im Schmelz. Im Schmelz wiederum ist die äußere Schicht wesentlich reicher an Fluor als der innere Kern. Und beim Karieschutz durch Fluor kommt es auf den Gehalt dieser äußeren Schmelzschicht an. Und diesen Gehalt kann man nun zum Beispiel mit Hilfe der lokalen Fluoridtherapie sehr gut beeinflussen. In welcher Form kommt nun eigentlich das Fluor in den Zähnen vor?

Es ist bekannt, daß das anorganische Gerüst der harten Zahngewebe wie auch des Knochens aus Hydroxylapatit-Kristalliten besteht. Diese weisen im Zahnbein und im Schmelz eine bestimmte räumliche Orientierung auf. In diesem Apatit-Kristallgitter können nun sowohl das Ca wie auch P und OH durch andere Elemente ersetzt werden. Halogene können zum Beispiel die Stelle der Hydroxylgruppen einnehmen. Viele andere Elemente können das Ca ersetzen. Und man nimmt deshalb an, daß auch das Fluor in den Zähnen in Form von Fluorapatit vorkommt. Und dieses Fluorapatit ist nun gegen Lösung in Säuren wesentlich widerstandsfähiger als ein Hydroxylapatit. Und hierin liegt letzten Endes die Grundursache der erhöhten Kariesresistenz begründet.

Allerdings, und auch das muß gesagt werden, ist Fluorapatit nicht absolut unlöslich. Außerdem bestehen auch nicht alle Kristallite aus Fluorapatit. Deshalb kann auch das Fluor den Zähnen keinen hundertprozentigen Schutz gegen die Karies vermitteln. Wie aber kommt es nun zu dieser Einlagerung von Fluor in die Zahnhartsubstanz? Um diese Frage zu klären, müssen wir den Vorgang noch etwas genauer von der chemischen Seite betrachten.

Wie wir wissen, sind alle tierischen und pflanzlichen Strukturen biologische Gele. Also auch unsere Zähne. Kolloidchemisch werden jedenfalls alle tierischen und pflanzlichen Strukturen so bezeichnet. Alle diese Gele besitzen nun eine geordnete Struktur, die nach Thiele, E. (1955) hervorgerufen

wird durch einen Ionenaustausch, also durch Reaktionen von Ionen. Man nennt sie deshalb auch ionotrope Gele. Allen biologischen oder ionotropen Gelen sind nun verschiedene Eigenschaften gemeinsam. Sie sind erstens polarisations-optisch doppelbrechend, sind reversibel quellbar, hochelastisch und tauschen reversibel Ionen aus. Die ionotropen Gele bilden sich mit natürlichen Stoffen unter physiologischen Bedingungen, und sie lassen sich durch Ionenaustausch wieder zum Sol auflösen.

Die Ionenaustauschkapazität steigt nach Angaben verschiedener Autoren mit sinkendem pH.

Fischer, B. und Muhler, J.C. (1952) behaupten zum Beispiel, daß die Umwandlung des Hydroxylapatits in eine Calciumfluoridstruktur mit sinkendem pH-Wert der Fluorlösung verstärkt wird. Je niedriger also der pH-Wert, um so stärker die Umwandlung in ein Fluorapatit. Dagegen ist die Austauschkapazität bei gleichvalenten Ionen unabhängig von der Konzentration der Austauscherlösung.

Der einzige Unterschied, den der Zahn als Anionenaustauscher zu anderen Ionenaustauschern zeigt, liegt in seinem anatomischen Bau begründet. Denn der Zahn besitzt zwei Austauscherlösungen. Einmal das Blut und zweitens den Speichel. Der Zahn kann also Ionenaustauschreaktionen sowohl nach innen als auch nach außen eingehen. Auf den Ionenaustausch von innen soll hier nicht näher eingegangen werden. Es sind jedenfalls einige Ionenaustauschreaktionen Zahn $\leftrightarrow$ Blut bekannt.

Einen Ionenaustausch von außen nun können wir, wie schon gesagt, mit der lokalen Fluoridtherapie erzielen. Die Folge ist eine sogenannte Härtung des Schmelzes und eine gewisse Kariesresistenz. Es wäre nun nur die Frage zu klären, ist für die Kariesresistenz allein die Einlagerung von Fluor in die Zahnhartsubstanz verantwortlich zu machen oder kommt sie vielleicht auch von einem gewissen Eingreifen des Fluors in den Bakterienstoffwechsel. Eine bakterizide, zumindest aber bakteriostatische Wirkung also. Dann wäre nämlich die Wirkung des Fluors nicht nur in der schwer säurelöslichen Verbindung des Fluor-Apatits zu suchen, sondern gleichzeitig in einer Störung des Kohlehydratstoffwechsels der Mundbakterien. Nach Rickles, N.H. und Becks, H. (1952) jedoch verändert eine 2%ige NaF-Lösung die Eigenschaften der Mundflora kaum. Auch der *Lactobacillus acidophilus*-Index wird nicht verändert.

Neuere Untersuchungen von Bramstedt, F. und Naujoks, R. (1962) haben ergeben, daß es durch Zusatz geringer Mengen von Natriumfluorid zu

einem gesteigerten Glucoseumsatz in der Mundhöhle kommt. An dieser Steigerung sind vor allem *Streptococcus salivarius* und *Lactobacillus casei* beteiligt. Sie setzen nach einem geringen Fluoridzusatz erheblich größere Mengen von Glucose um als ohne diesen Fluoridzusatz.

Die Kariesprophylaxe mit Fluor zielt also auf eine Änderung der Struktur des Zahnes durch Ionenaustauschreaktion hin, um ihn kariesresistenter zu machen. Dies geschieht entweder durch Beeinflussung der prä- und postnatalen Ernährung von Mutter und Kind, eine Beeinflussung also des Ionenaustausches von innen während der Entwicklung des Zahnes, oder aber durch örtliche Fluorapplikation zur Beeinflussung des Ionenaustausches von außen.

Diese wiederum besteht einmal darin, daß man einer handelsüblichen Zahnpasta eine bestimmte Menge Fluor zusetzt. Man hofft auf diese Weise, durch den täglichen Gebrauch der Zahnpasta, einen gewissen Kariesschutz für die Zähne zu erzielen.

Versuche in dieser Richtung wurden von Finn, S.B. und Jamison, G. (1964) unternommen. Es wurden drei Zahnpasten in klinischen Versuchen getestet. Dabei erzielte eine Zahnpasta, die 0,76 % Natrium-monofluorophosphat, 1 % Natrium-N-Lauroylsarcosinat und unlösliches Natriummetaphosphat enthielt, 25 % weniger neue DF-Flächen als eine Zahnpasta, die 0,4 % Zinnfluorid und Calciumpyrophosphat enthielt und eine, die 2 % Lauroylsarcosinat und Dicalciumphosphat-dihydrat enthielt. Bei der Fluorophosphatzahnpasta trat also eine signifikante Kariesreduktion ein. Ähnliche Versuche wurden auch von Kyes, F.M., Overton, N.J. und McKean, T. W. (1961) durchgeführt. Auf Grund ihrer Ergebnisse wurde die getestete Zinnfluoridzahnpasta vom Council on Dental Therapeutics als neue wirkungsvolle antikariöse Zahnpasta bezeichnet.

Eine andere Möglichkeit der Kariesprophylaxe besteht in einem direkten Auftragen einer bestimmten Fluoridlösung auf die Schmelzoberfläche, dem sogenannten "Touchieren".

Knutson, J.W. und Scholz, G.C. (1949) haben eine Übersicht gegeben über die Ergebnisse der Kariesreduktion mittels lokaler Fluoridbehandlung. Es wurden etwa vier Behandlungen mit 2% iger Fluoridlösung pro Kopf durchgeführt. Hierbei wurde die erreichte Kariesreduktion für jeden einzelnen Zahntypus angegeben.

Tabelle Nr. 2

Vorhandene und neue Kariesläsionen von lokal mit Fluorid behandelten und Kontrollzähnen
(nach Knutson und Scholz 1949).

Zahn	OK			UK		
	vorhanden		% kariös geworden	vorhanden		% kariös geworden
	F-behand.	Kontrolle		F-behand.	Kontrolle	
1	810	803	4,2	1001	998	0,5
2	720	729	4,7	967	969	0,7
3	473	461	1,3	613	615	0,2
4	532	539	4,7	586	592	2,0
5	422	449	6,4	431	419	7,4
6	294	293	21,8	199	199	35,2
7	215	218	22,7	167	176	29,2
						0,9
						0,8
						0,5
						4,2
						11,7
						45,2
						55,1

Knutson und Scholz stellten also eine beträchtliche Kariesreduktion nach lokaler Fluoranwendung fest. Kutler (1954) in Irland dagegen findet keine Reduktion der Kariesfrequenz durch lokale Fluorbehandlung. Er behandelte bei 147 Medizinstudenten im Alter von 20 bis 42 Jahren (Durchschnitt 24 Jahre) zwei Quadranten des Mundes mit 2%iger NaF-Lösung. Bei 50% der Studenten wurden die Zähne im Bereich des rechten Quadranten, bei den anderen 50% wurde links behandelt. Die gegenüberliegenden Quadranten dienten in analoger Weise jeweils als Kontrolle. Klinische und röntgenologische Untersuchungen wurden vor der letzten NaF-Pinselung und 13 Monate später vorgenommen. Sämtliche Prüfungen wurden dabei vom gleichen Untersucher durchgeführt. Dabei stellte man jeweils 294 frische Kariesdefekte sowohl im behandelten als auch im nichtbehandelten Quadranten fest.

Die Erfahrung hat jedoch inzwischen gezeigt, daß bei Anwendung von NaF-Lösungen der Kariesschutz nur gering ist. Daher mag auch das negative Ergebnis von Kutler kommen. Günstiger scheinen die Verhältnisse bei den wirksameren SnF_2 -Lösungen zu liegen. Auch bei Experimenten mit fluorhaltigen Zahnpasten wurde beim Gebrauch von NaF-haltigen Zahnpasten keine signifikante Kariesreduktion erzielt. Wirksamer erwiesen sich auch hier SnF_2 -haltige Zahnpasten. In zahlreichen Versuchen, die in Indiana, USA, mit 6- bis 15-jährigen Kindern durchgeführt wurden, beobachtete man nach einem Jahr im Vergleich zu den Kontrollen eine Kariesreduktion von 30 - 35% bei den Kindern, die eine SnF_2 enthaltende Zahnpasta benutzt hatten. Diese Versuche wurden vor allem von Muhler, J.C., Radike, A.W., Nebergall, W.H. und Day, H.G. (1955) an den Kindern und Studenten durchgeführt.

Versuche mit einer neutralen 2%igen Natriumfluoridlösung, die von Schmidt, H.F.M. (1963) durchgeführt wurden, ergaben allerdings eine deutliche Veränderung der äußeren Schmelzschicht.

Schmidt konnte schon nach einer Einwirkungszeit von 20 Minuten ein Eindringen der Fluor-Ionen in den Schmelz beobachten. Die Eindringtiefe betrug etwa 0,05 mm. Es muß jedoch betont werden, daß Schmidt bei seinen Versuchen die Oberfläche der Zähne vor dem Fluorieren beschliffen hatte, so daß die eigentliche Schmelzoberfläche, das Schmelzoberhäutchen also, nicht mehr erhalten war. Aber gerade das Schmelzoberhäutchen und die eventuell sekundär gebildeten Deckschichten sind die Teile des Schmelzes, die ja dem Eindringen der verschiedensten, vor allem schädigenden Substanzen in den Schmelz einen gewissen Widerstand entgegensetzen können.

Mühlemann, H.R. (1960) und (1957) und Mitarbeiter haben ebenfalls Versuche unternommen, mit Hilfe der "Topical application" zu einem Karieschutz zu gelangen. Es wurden dabei Fluorverbindungen benutzt, die infolge ihrer Oberflächenaktivität sich an der Zahnoberfläche anhäufen und auf diese Weise auch bei geringer Fluoridkonzentration eine intensive Wirkung gewährleisten.

c) Fluor im Lichte oberflächenmikroskopischer Untersuchungen

In diesem Zusammenhang scheint es von Interesse, ob die lokale Anwendung von Fluoriden zu einer Veränderung der Schmelzoberfläche führt. Und zwar zu einer strukturellen Veränderung, die man mit Hilfe der Replica-Technik unter dem Mikroskop erkennen kann. Bei meinen Versuchen kamen deshalb zur Einwirkung eine SnF_2 -haltige Zahnpasta, eine 0,4%ige SnF_2 -Lösung, eine 2%ige SnF_2 -Lösung, eine 8%ige SnF_2 -Lösung und eine 10%ige SnF_2 -Lösung.

Tabelle Nr.3

Testsubstanzen und Zahl der getesteten Zähne (Replica-Technik)

Substanzen	Anzahl der Zähne	Wirkung auf die Zahnoberfläche
SnF_2 -haltige Zahnpasta	5	-
0,4%ige SnF_2 -Lösung	5	-
2%ige SnF_2 -Lösung	10	- (+)
8%ige SnF_2 -Lösung	10	+
10%ige SnF_2 -Lösung	15	+

Für die Versuche wurden frisch extrahierte Zähne, die noch am gleichen Tage der Wirkung der Fluorid-Lösungen ausgesetzt wurden, benutzt. In der Zeit von der Extraktion bis zum Versuch wurden die Zähne in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Es wurden fast ausschließlich Zähne benutzt, deren Schmelzoberfläche noch nicht durch Karies, Abrasion oder andere Defekte verändert war, sondern bei denen das Schmelzoberhäutchen noch gut erhalten war. Die Zähne wurden gewaschen, mit einer Bürste und etwas Bimsstein-



Abb. 2 Unbehandelte normale Schmelzoberfläche (Vergr. 1 : 80) mit den sich dachziegelartig überlagernden Perikymatien.



Abb. 3 Schmelzoberfläche 3 Minuten lang mit 8%iger SnF_2 -Lösung behandelt (Vergr. 1 : 80)

pulver gereinigt, um Beläge zu entfernen und kamen so in die betreffende Lösung. Sie wurden mit der Krone in die Lösung hineingehängt, um ein gleichmäßiges Umspülen zu erreichen. Die Temperatur betrug 37°C . Bei länger dauernden Versuchen wurden die Lösungen mehrmals erneuert, so daß immer wirksame Substanzen zur Anwendung kamen. Außerdem wurden sämtliche Versuche unter gleichen Bedingungen in einer Speichelaufschwemmung noch einmal durchgeführt. Alle aber wurden sie zur Kontrolle mehrmals wiederholt. Die Einwirkungszeiten betrugen immer 3 Minuten, dann 1 Stunde, 12 Stunden, dann 24 Stunden und manchmal auch 48 Stunden.

Als erstes wurden nun Versuche mit einer SnF_2 -haltigen Zahnpasta angestellt. Dabei konnten auch bei längster Einwirkungszeit keine Veränderungen an der Schmelzoberfläche festgestellt werden. Auch bei den Versuchen mit einer 0,4%igen Lösung von SnF_2 war keine Veränderung an der Schmelzoberfläche zu sehen. Erst bei der 2%igen SnF_2 -Lösung konnten wir nach etwa 48-stündiger Einwirkungszeit eine geringfügige, kaum sichtbare Auflockerung des Schmelzoberhäutchens feststellen. Bei normaler Einwirkungszeit, etwa beim Zähneputzen, dürften sich aber bei dieser Konzentration kaum Veränderungen an der Schmelzoberfläche zeigen. Aus diesen Ergebnissen kann man schließen, daß eine Behandlung der Zähne mit Zinnfluorid bei den oben angegebenen Konzentrationen unschädlich ist. Es kommt zu keiner signifikanten Änderung der natürlichen Struktur der Zahnoberfläche. Wirklich starke Veränderungen aber traten bei der 8%igen und der 10%igen Lösung auf.

Abbildung 2 zeigt eine Schmelzoberfläche, bei der nahezu sämtliche Prismenenden in Nasmyth'scher Substanz eingegossen sind. Wir sehen die horizontal um die Krone herum verlaufenden Perikymatien mit den dazwischens liegenden Imbrikationslinien. Wir sehen weiterhin deutlich, wie sich die einzelnen Perikymatien dachziegelartig überlagern. Im cervikalen Bereich zeigt die Struktur scharf abbrechende Imbrikationslinien, während die Oberfläche im okklusalen Bereich einen mehr wellenförmigen Verlauf nimmt. Die dunkle Stelle auf der rechten Seite des Bildes ist wieder die Schliiffmarke, um unter dem Mikroskop immer dieselbe Stelle wiederfinden zu können. Die Grübchen und Vertiefungen auf den einzelnen Perikymatien lassen die unter dem Schmelzoberhäutchen liegenden Prismenköpfe und die interprismatische Substanz erkennen.

Dieselbe Schmelzoberfläche wurde nun einer 8%igen SnF_2 -Lösung ausgesetzt. Nach einer Einwirkungszeit von 3 Minuten bekamen wir ein Bild, wie es Abbildung 3 darstellt.

Wir sehen im Vergleich zur Abbildung 2 eine gewisse Auflockerung des Schmelzoberhäutchens. Sie kommt durch das vermehrte Durchscheinen der Prismenenden zum Ausdruck. Viele Grübchen haben sich vertieft. Das Bild ist insgesamt etwas unruhiger geworden. Auf der rechten Bildseite ebenfalls wieder die Schliffmarke.

Abbildung 4 zeigt nun dieselbe Stelle nach einer Einwirkungszeit von 1 Stunde. Die 8%ige SnF_2 -Lösung hat stärkere Veränderungen hervorgerufen. Es ist zu Prismenfreilegungen gekommen. Noch deutlicher sind die Grübchen zu erkennen, die den Prismenköpfen entsprechen. Und noch deutlicher ist auch die aufragende interprismatische Substanz zu erkennen.

Wir sehen also eindeutige Veränderungen, die auf die Wirkung des Zinnfluorids zurückzuführen sind. Allerdings muß hierbei noch gesagt werden, daß die Stärke der Veränderungen bei den einzelnen Versuchen erheblich schwankte. Bei einigen Zähnen waren sie bei der angegebenen Konzentration und 1 Stunde Einwirkungszeit schon erheblich stärker als auf Abb.4, bei anderen waren sie jedoch weniger ausgeprägt. Auf alle Fälle aber war immer eine signifikante Auflockerung des Schmelzoberhäutchens festzustellen.

Dieselbe Schmelzoberfläche wurde nun anschließend 12 Stunden hindurch dem Einfluß der 8%igen Zinnfluoridlösung ausgesetzt. Dabei entstanden Veränderungen an der Schmelzoberfläche, wie sie aus Abb.5 ersichtlich sind.

Wir sehen eine Schmelzoberfläche, die teils der Entkalkung anheimgefallen ist, teils aber auch von gebildeten Deckschichten überlagert ist. Sie zeigt zum großen Teil das Reliefbild emporragender interprismatischer Substanz, während die Prismenköpfe muldenförmig ausgeätzt sind.

Ähnliche Bilder wie Abb.5 erhielt ich bei noch höher konzentrierten Lösungen, etwa bei 10 und 15%, schon nach Einwirkungszeiten, die unter einer Stunde lagen.

Von besonderem Interesse scheint uns noch zu sein, daß die Veränderungen der Schmelzoberfläche, im Sinne einer Zerstörung des Schmelzoberhäutchens, bei Zähnen, die vorher mit einer 2%igen SnF_2 -Lösung behandelt waren und auf die dann 10%ige HCl zur Einwirkung kam, daß diese Veränderungen lange nicht in dem Ausmaße zu erkennen waren wie bei den Zähnen, die nicht vorher mit Zinnfluorid behandelt waren. Während ich bei der Einwirkung einer 10%igen Salzsäure innerhalb einer Minute Bilder bekam, wie sie Abb.5 darstellt, waren die Veränderungen bei mit Zinnfluorid vorbehandelten Zähnen weit geringfügigerer Natur. Diese Tatsache, die wir bei mehreren Zäh-



Abb. 4 Vergr. Schmelzoberfläche 1 Stunde mit 8%iger SnF_2 -Lösung behandelt.



Abb. 5 Schmelzoberfläche 12 Stunden mit 8%iger SnF_2 -Lösung behandelt
(Vergr. 1 : 80)

nen beobachten konnten, scheint darauf hinzudeuten, daß bei unseren in vitro-Versuchen ein fluoriertes Hydroxyl-Apatit entstanden war, welches ja bekanntlich säureresistenter ist als das normale Hydroxyl-Apatit. Ein solcher Zahn wäre natürlich gegen alle möglichen Säuren, besonders natürlich den Gärungs-säuren gegenüber, viel widerstandsfähiger und würde demzufolge eine gewisse Kariesresistenz mit sich bringen.

Auch Heuser, H. (1962) kam bei seinen Versuchen zu dem Ergebnis, daß die Zähne, die mit einer Fluorlösung behandelt waren, viel säureresistenter sind als die nicht mit Fluor behandelten Zähne. Heuser behandelte die Zähne mit einer Cervin-Reogan-Lösung. Das Cervin ist ein Fluor-Magnesium-Silikat-Komplex mit der Formel $MgSiF_6$. Anschließend nach dem Touchieren mit Cervin behandelte er die Zähne noch einmal mit Reogan und schaffte so ein alkalisches Milieu. Die behandelten Zähne und die nichtbehandelten Kontroll-zähne ätzte er dann mit einer 60%igen Phosphorsäure. Und nachdem er dann von diesen Zähnen oberflächenhistologische Bilder gemacht hatte, stellte er fest, daß die nicht mit Cervin-Reogan vorbehandelten Schmelzoberflächen tiefgreifende Zerstörungen aufwiesen. Die vorbehandelten Schmelzoberflä-chen aber zeigten nur geringfügige Schäden. Heuser benötigte zum Wegätzen der Nasmythschen Membran fluorierter Zähne neunmal längere Zeit als zum Wegätzen der Membran nichtfluorierter Zähne. Daraus ist deutlich die größe-re Widerstandskraft der fluorierten Zahnhartsubstanz ersichtlich.

4. FERMENTE UND IHRE WIRKUNG IM LICHT E OBER- FLÄCHENMIKROSKOPISCHER UNTERSUCHUNGEN

Im folgenden soll von einer anderen Möglichkeit gesprochen werden, eine Verminderung der Kariesanfälligkeit zu erzielen. Diese Möglichkeit zielt darauf hin, den Zahnstein, vor allem aber dessen Frühstadien, zur Auflö-sung zu bringen (vgl. Mühlemann und Mitarbeiter).

Man kann dies erreichen mit Hilfe seiner fermentativen Verdauung. Friese, K. (1964) konnte zeigen, daß durch eine Komposition verschiedener Enzyme die Zahnsteinbildung wesentlich eingeschränkt wird.

Bleibt die Wirkung der Fermente nur auf die Beläge beschränkt? Oder kommt es gleichzeitig zu einer Wirkung auf die Zahnoberfläche? Die nächsten Ver-suche sollen zur Klärung dieser Frage beitragen.

Es wurden verschiedene Fermente, die im einzelnen noch erwähnt werden, getestet. Die Versuchstemperatur betrug 37°C. Alle Fermentspeichelaufschwemmungen wurden durch Pufferlösungen auf einem bestimmten pH-Optimum gehalten. Bei längeren Versuchen wurde die Fermentlösung mehrmals erneuert.

Ferment	Anzahl der Zähne	Wirkung auf die Zahnoberfläche
Amylase	12	-
Trypsin	8	- (+)
Papain	10	- (+ bei Aktivierung)
Lipase	15	+
Pankreatin	15	-

Tabelle Nr.4 Getestete Fermente und Anzahl der getesteten Zähne

a) Die Amylase

Als erstes Ferment wurde die Amylase hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Zahnoberfläche untersucht. Sie gehört nach Abderhalden, E. (1948) zu den Polyasen. Letztere spielen eine Rolle sowohl bei der Synthese als auch beim Abbau der stärkeähnlichen Kohlehydrate. Dabei handelt es sich immer um die Übertragung von Glykosylresten auf Acceptoren. Und zwar ist bei der phosphorylytischen Spaltung die Phosphorsäure der Acceptor, während bei der Hydrolyse das Wasser als Acceptor dient. Bei der Amylase haben wir es hauptsächlich mit einem hydrolytisch wirkenden Ferment zu tun. Die Substrate dieses Ferments sind das Amylopektin und die Amylose sowie das Glykogen. Die Amylasen lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen, und zwar in die dextrinogen wirkenden α -Amylasen und in die saccharogen wirkenden β -Amylasen. Als Endprodukt erhalten wir bei der Spaltung die α -Maltose. Die Amylasen der Säugetiere gehören der α -Gruppe an. Ihr pH-Optimum liegt in der Nähe des Neutralpunktes. Die β -Amylasen dagegen sind auf die Pflanzenwelt beschränkt. Ihr pH-Optimum liegt etwa bei 5.

Der Wirkung der Amylase wurden nun verschiedene Zähne ausgesetzt. Sie kamen wieder mit der Krone in der Fermentspeichelaufschwemmung zu liegen. Jeweils nach 3 Minuten, 1 Stunde, 12 Stunden und 48 Stunden wurden Kontroll-

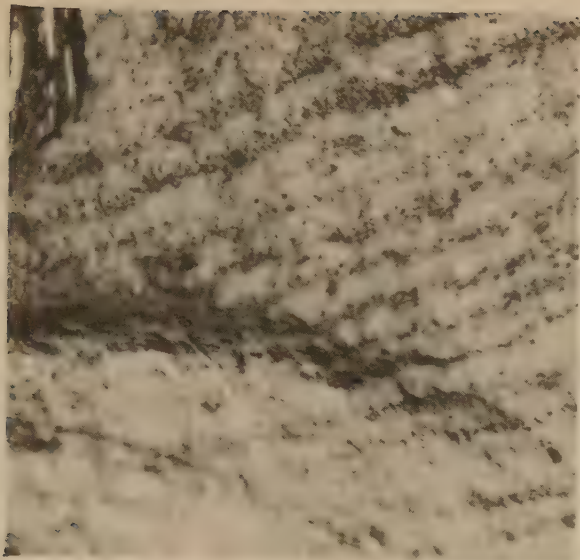


Abb. 6 Schmelzoberfläche vor der Behandlung mit Amylase (Vergr. 1 : 80)



Abb. 7 Vergrößerte Schmelzoberfläche 48 Std. mit Amylase behandelt

abdrücke von der Schmelzoberfläche genommen, um etwaige Veränderungen feststellen zu können.

Die auf Abbildung 6 dargestellte Schmelzoberfläche ist vom typischen Bau der Perikymatien beherrscht. Die in großer Anzahl vorhandenen grubchenförmigen Vertiefungen entsprechen den Prismenköpfen, die wiederum zum größten Teil vom Schmelzoberhäutchen überzogen sind.

Dieselbe Schmelzoberfläche wurde nun einer Amylasespeichelaufschwemmung ausgesetzt.

Zuerst 3 Minuten, es war keine Veränderung festzustellen, dann 1 Stunde. Doch auch nach einer Stunde hatte das Ferment keinerlei Veränderungen an der Schmelzoberfläche hervorgerufen. Ebenso nach 12 und nach 24 Stunden. Abb. 7 zeigt nun dieselbe Schmelzoberfläche nach einer Einwirkungszeit von 48 Stunden. Es ist auch hier kein nennenswerter Unterschied festzustellen. Zumindest ist er so minimal, daß man ihn unberücksichtigt lassen kann, noch dazu bei einer extrem langen Zeit von 48 Stunden.

Man kann also sagen, daß die Amylase in ihrer Wirkung auf die Zahnoberfläche vollkommen harmlos ist. Es kommt zu keiner Schädigung der Schmelzoberfläche. Das Schmelzoberhäutchen wird durch die Amylase nicht angegriffen. Dagegen konnten wir auf verschiedenen Bildern beobachten, daß restliche Beläge auf einigen von uns untersuchten Zähnen durch die Amylase zum Auflösen gebracht wurden.

b) Trypsin

Nach Abderhalden, E. (1948) sind mehrere Fermentsysteme am Abbau der Proteine und der aus ihnen hervorgehenden Aminosäureketten beteiligt. Sie werden alle als Proteasen bezeichnet. Zu diesen gehört das Trypsin. Dieses Ferment ist im Darmsaft enthalten, es stammt aus dem Pankreas und wird dort in einer Vorstufe, dem Trypsinogen, gebildet. Das Trypsin entfaltet seine volle Wirksamkeit bei einem pH-Optimum von 8. Allerdings ist seine Wirkung nativen Proteinen gegenüber gering. Dagegen werden die Proteine in denaturiertem Zustand gut aufgespalten. Das Trypsin baut im Verein mit Chymotrypsin die Eiweißkörper bis zur Peptidstufe ab.

Abb. 8 zeigt nun wieder eine typische Schmelzoberfläche. Das Schmelzoberhäutchen ist größtenteils noch erhalten und überzieht die meisten der Prismenköpfe und die interprismatische Substanz.

Diese Schmelzoberfläche wurde nun der Wirkung des Trypsins ausgesetzt. Bis zu 24 Std. zeigten sich überhaupt keine Veränderungen. Erst bei 48 Std. Einwirkungszeit waren minimale Veränderungen festzustellen. Abb. 9 zeigt nun dieselbe Oberfläche nach einer Einwirkungszeit von 48 Std.

Man kann also sagen, daß die Wirkung des Trypsins auf die Schmelzoberfläche so gering ist, daß sie normalerweise nicht ins Gewicht fällt. Noch dazu ja solche extrem langen Einwirkungszeiten nie erreicht werden. Das Schmelzoberhäutchen, ja das gesamte Schmelzprotein scheint also Trypsin gegenüber resistent zu sein. Dies würde auch mit den Untersuchungsergebnissen von Schüle, H. (1962) übereinstimmen.

c) Papain

Nach Ammon Dirscherl (1959) sind Trypsin, Chymotrypsin und Pepsin ausgesprochene extrazelluläre Verdauungsproteinasen des Magen-Darm-Kanals. Außer diesen gibt es aber auch noch eiweißspaltende Fermente, die auf den endozellulären Eiweißumsatz eingestellt sind. Es handelt sich dabei im Pflanzenbereich um die intrazellulären Proteinase, die Papaine. Im tierischen und menschlichen Gewebe dagegen um den Kathepsinkomplex. Diese Fermente spalten ihre Substrate am besten bei schwach saurer Reaktion. Im folgenden soll nun von Papain, welches auch in kristallisierter Form dargestellt werden kann, die Rede sein.

Bei den pflanzlichen Proteinase unterscheiden wir:

1. SH-Proteinasen mit einem pH-Optimum von 7 für native Eiweißkörper und einem pH-Optimum von 5 bis 5,5 für synthetische Substrate.
2. Proteinase ohne wirksame SH-Gruppen mit einem pH-Optimum von 7. Beide Gruppen sind etwa bis zu 70° hitzebeständig. Die wichtigste aller Papainasen, das Papain, stammt aus dem Milchsaft des Melonenbaumes (*Carica papaya*). Es wird erst oberhalb von 80° inaktiviert. Wichtig für die proteolytische Aktivität verschiedener Papainpräparate aber ist die maximale Aktivierung. Und zwar handelt es sich bei der Aktivierung um eine Reduktion des Fermentmoleküls mit Hilfe von H_2S , Natriumbisulfit oder Natriumpyrosulfit. Gehemmt wird das Ferment durch milde Oxydationsmittel wie zum Beispiel verdünnte H_2O_2 -Lösung. Es kann also durchaus möglich sein, daß alle Substrate wie Peptone, Protamine sowie synthetische Peptide und Peptidderivate vollkommen resistent gegenüber Papain sind. Nach der Aktivierung jedoch entfalten Papaine ihre volle Wirkung gegenüber diesen Substraten. Dieses Papain wurde nun ebenfalls in seiner Wirkung auf die Schmelzoberfläche getestet. Dabei stellte sich heraus, daß die Schmelzoberfläche normalerweise dem Papain

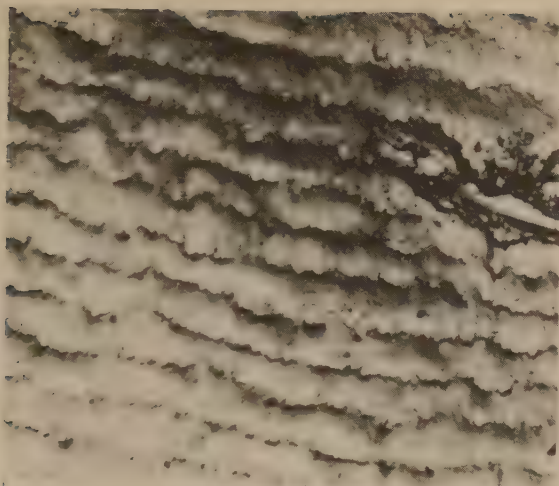


Abb. 8 Vergrößerte unbehandelte Schmelzoberfläche

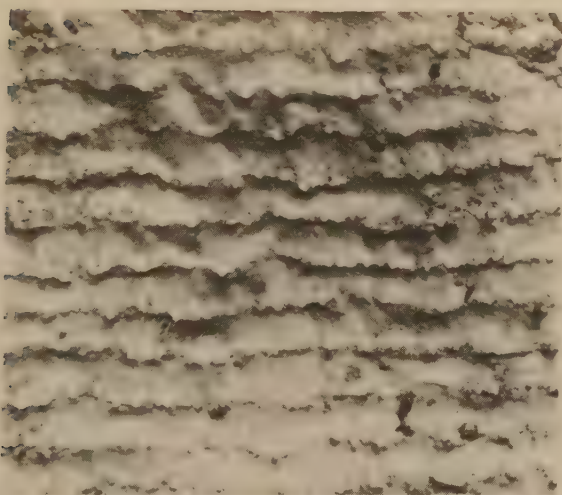


Abb. 9 Vergrößerte Schmelzoberfläche 48 Std. mit Trypsin behandelt

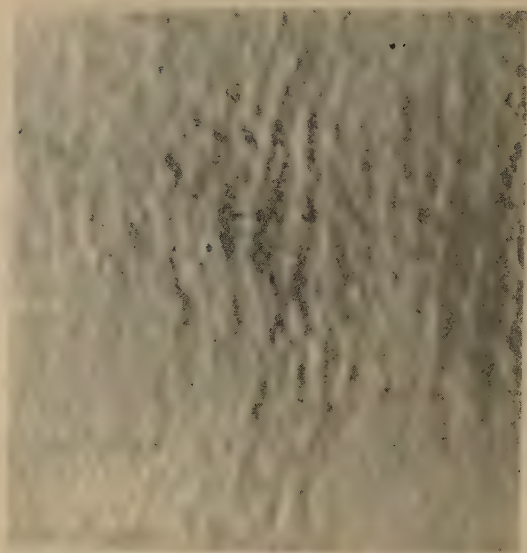


Abb.10 Vergrößerte unbehandelte Schmelzoberfläche

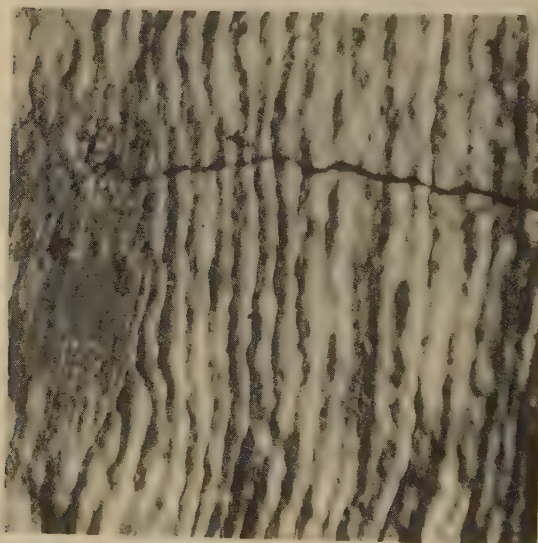


Abb.11 Vergrößerte Schmelzoberfläche 24 Std. mit Papain behandelt



Abb.12 Vergrößerte unbehandelte Schmelzoberfläche



Abb.13 Schmelzoberfläche 1 Std. mit Lipase behandelt (Vergr. 1 : 80)

gegenüber vollkommen resistent ist. Wir wiederholten diese Versuche dann noch einmal im Beisein von Natriumbisulfit und bei diesen Versuchen waren bei den behandelten Präparaten kleine Unterschiede festzustellen. Abb.10 zeigt nun eine Schmelzoberfläche in unbehandeltem Zustand und Abb.11 nach einer 24-stündigen Papainbehandlung im Beisein von NaHSO_3 . Deutlich vor allem das plötzliche starke Hervortreten des Schmelzsprunges.

Wir können also auch hier sagen, daß das Papain im Hinblick auf seine Wirkung auf die Schmelzoberfläche vollkommen unschädlich ist, daß es aber durch Aktivierung mit Hilfe eines Reduktionsmittels zu einer möglichen Wirkung auf die Schmelzoberfläche kommen kann.

d) Lipasen

Die Lipasen, welche ebenfalls hauptsächlich aus dem Pankreas stammen, haben als spezifische Substrate vor allem die Carbonsäureester mehrwertiger Hydroxylverbindungen, vor allem des Glyzerins. Nach Abderhalden, E. (1948) aber ist zu betonen, daß die Lipasen eine große Abhängigkeit ihrer Eigenschaften von den Begleitstoffen zeigen. Wenn man in vitro diese Begleitstoffe oder Effektoren zusetzt, so können das pH-Optimum, die spezifische Aktivität und der Reaktionsmechanismus stark beeinflußt werden. Um also ein Maximum an Aktivität bei Lipasen zu erhalten, muß man wirksame Aktivatoren zusetzen, die dem Ferment auch im nativen Zustand zur Verfügung stehen. Es sind vor allem Calciumsalze und Albumin. Weitere Aktivatoren sind vor allem Aminosäuren, Peptide und die Cholsäure.

Bei der Untersuchung der Lipase hinsichtlich ihrer Wirkung auf die äußeren Schmelzschichten kam es zu erheblichen Veränderungen. Die Versuche wurden mehrmals wiederholt, doch die Ergebnisse waren immer dieselben. Die Zähne kamen wieder mit der Krone in einer Fermentspeichelaufschwemmung zu liegen.

Abb.12 zeigt nun eine Schmelzoberfläche vor der Behandlung mit der Fermentaufschwemmung. Bis auf einige Stellen ist das Schmelzoberhäutchen auch hier noch erhalten.

Dieselbe Schmelzoberfläche wurde nun für 3 Minuten der Lipaseaufschwemmung ausgesetzt. Es zeigten sich kaum Veränderungen. Nach 1 Stunde jedoch zeigte die Schmelzoberfläche starke Veränderungen. Es kam zu einem Aufquellen, ja zu regelrechten Verdauungserscheinungen am Schmelzoberhäutchen. Wie sehen es auf Abb.13.

e) Pankreatin

Als letztes nun wurde das Pankreatin, ein Fermentgemisch also, hinsichtlich seiner Wirkung auf die Schmelzoberfläche untersucht.

Auf Abbildung 14 sehen wir eine Schmelzoberfläche vor der Behandlung. Ein Teil der Schmelzoberfläche ist mit einem Belag überzogen. Dieser Belag wurde absichtlich auf der Schmelzoberfläche belassen.

Nach 12-stündiger Einwirkungszeit einer Pankreatinspeichelaufschwemmung waren die Beläge wohl zum größten Teil verschwunden, die Schmelzoberfläche aber hatte sich kaum verändert. Wir sehen es auf der Abbildung 15. Auch nach einer Zeit von 24 Stunden war praktisch keine Veränderung festzustellen. Daraufhin setzte ich dieselbe Schmelzoberfläche noch einmal der Wirkung einer Lipasespeichelaufschwemmung aus, und schon nach 1 Stunde konnte man ein Aufquellen des Schmelzoberhäutchens beobachten. Die fermentative Verdauung hatte begonnen. Wie sehen es auf Abbildung 16.

Auch diese Versuche wurden wiederholt, und wir kamen immer zu demselben Ergebnis. Pankreatin zeigt keine, zumindest nur minimale und nur bei extrem langer Einwirkungszeit sichtbare Einwirkung. Lipase dagegen führte schon nach verhältnismäßig kurzer Einwirkungszeit zu erheblichen Veränderungen der Schmelzoberfläche.

5. ERGEBNISSE

In der vorliegenden Arbeit kamen folgende Fluoride und Enzyme hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Zahnschmelz zur Untersuchung:

- Fluoride:
- a) SnF_2 -haltige Zahnpasta
 - b) 0,4% ige SnF_2 -Lösung
 - c) 2% ige SnF_2 -Lösung
 - d) 8% ige SnF_2 -Lösung
 - e) 10% ige SnF_2 -Lösung

- Enzyme:
- a) Amylase
 - b) Trypsin
 - c) Papain
 - d) Lipase
 - e) Pankreatin

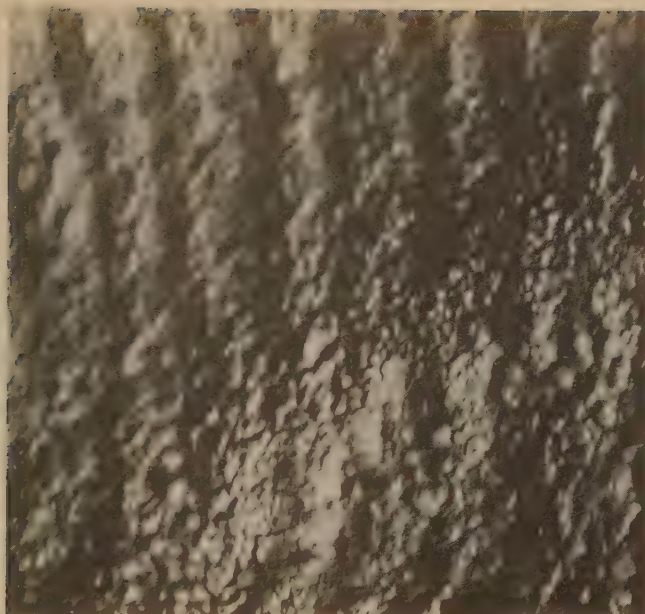


Abb. 14 Vergrößerte unbehandelte Schmelzoberfläche

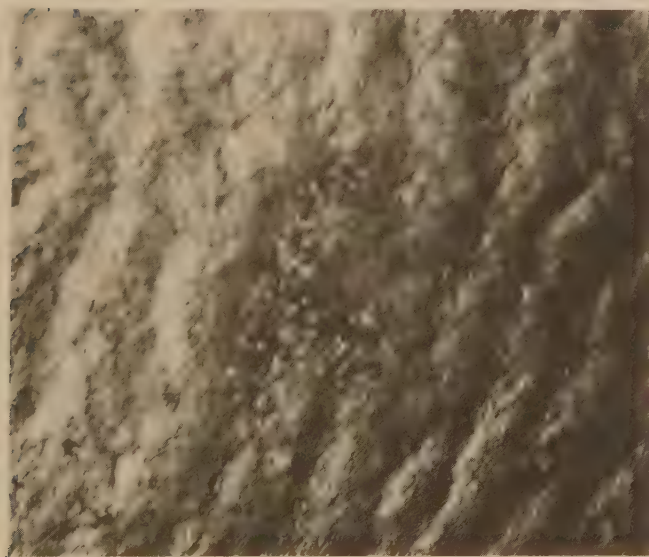


Abb. 15 Schmelzoberfläche 12 Std. mit Pankreatin behandelt

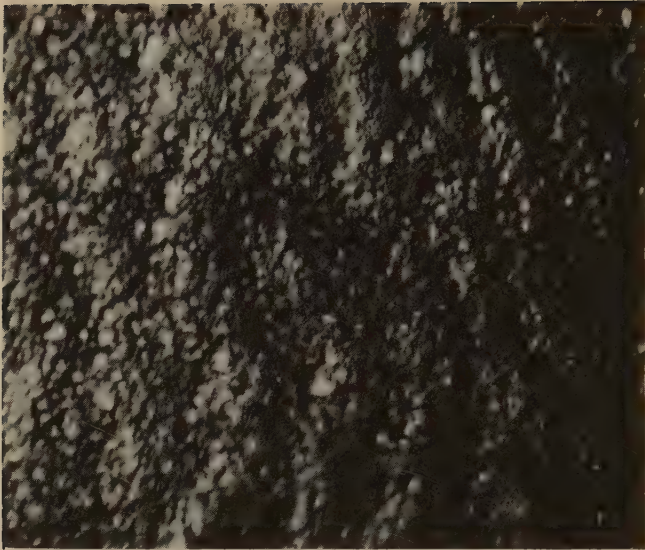


Abb.16 Schmelzoberfläche 1 Std. mit Lipase behandelt

Das Ziel der Versuche bestand darin zu klären, ob es durch die erwähnten Substanzen zu Veränderungen oder Schädigungen der Schmelzoberfläche kommt. Eine Behandlung der Zähne mit Fluoriden und Enzymen sollte primär keine direkt sichtbaren Veränderungen der Schmelzoberfläche zur Folge haben. Wo es aber doch zu einer strukturellen Veränderung der Zahnoberfläche kommt, liegt unter Umständen eine Schädigung vor.

Bei den Untersuchungen, die an frisch extrahierten Zähnen vorgenommen wurden, kam die von Wolf erstmals benutzte Reliefadhäsionsmethode zur Anwendung. Die Versuchsdauer betrug jeweils 3 Minuten, 1 Stunde, 12 Stunden, 24 Stunden und manchmal 48 Stunden.

Bei den Fluoriden zeigten die fluorhaltige Zahnpasta und die 0,4%ige SnF_2 -Lösung auch bei längsten Einwirkungszeiten keine Veränderung der Schmelzoberfläche. Die 2%ige Lösung zeigte bei einer Einwirkungszeit von 48 Stunden eine geringfügige, kaum sichtbare Auflockerung der oberflächlichen Schmelzschicht. Wirklich starke Veränderungen aber waren bei den Versuchen mit der 8%igen und der 10%igen SnF_2 -Lösung festzustellen.

Bei der Untersuchung der Fermente zeigte sich, daß Amylase, Trypsin und Pankreatin praktisch keine Wirkung auf die Schmelzoberfläche haben. Das Schmelzoberhäutchen ist diesen Fermenten gegenüber also resistent. Beim Pappain kann es bei genügender Aktivierung unter Umständen zu einer Wirkung auf die Zahnoberfläche kommen. Erhebliche Veränderungen an der Schmelzoberfläche aber traten bei den Versuchen mit der Lipase auf. Bei einer Versuchsdauer von 3 Minuten zeigte sich noch keine Wirkung. Nach einer Stunde jedoch war die Schmelzoberfläche durch die fermentative Wirkung der Lipase erheblich verändert worden.

Bei unseren Versuchen konnten wir weiterhin feststellen, daß Beläge auf den Zähnen mit Hilfe von Fermenten zur Auflösung gebracht werden können. Besonders Pankreatin scheint recht gut dazu geeignet zu sein.

Zum Abschluß soll noch betont werden, daß es zu einer Remineralisation von Schmelzschädigungen kommt, daß diese Schäden dadurch aber nicht vollwertig ausgeglichen sind. Wir konnten auf den oberflächenhistologischen Bildern immer wieder feststellen, daß die Widerstandsfähigkeit dieser remineralisierten Stellen nicht an die Widerstandsfähigkeit des Schmelzoberhäutchens herankommt.

6. DISKUSSION

Es kamen in der vorliegenden Arbeit Fluoride und Enzyme auf die Oberfläche frisch extrahierter Zähne zur Einwirkung. Mit Hilfe der Reliefadhäsionsmethode (Replica-Technik) wurden dann in regelmäßigen Abständen Abdrücke der Zahnoberflächen gewonnen.

Das Ziel der Versuche bestand darin zu klären, ob durch die Testsubstanzen nicht eine Schädigung der Schmelzoberfläche hervorgerufen wird und in welchem Ausmaß dies geschieht.

Die Fermente wurden in höheren Konzentrationen getestet, als sie eventuell in Pastenform oder in Form von Tabletten vorliegen würden. Deshalb ist den Ergebnissen auch nur ein experimenteller Wert beizumessen.

Die Reliefadhäsionsmethode dürfte heute die Methode der Wahl für Oberflächenuntersuchungen am Zahnschmelz sein, wobei jedoch immer beachtet werden sollte, daß die Replica-Technik lediglich die Struktur der Schmelzoberfläche zur Darstellung bringt. Rückschlüsse auf die stoffliche Zusammensetzung der Präparate sind auf alle Fälle zu vermeiden.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Nach einem allgemeinen Überblick über die Histologie des Schmelzes und des Schmelzoberhäutchens im besonderen wird die oberflächenmikroskopische Untersuchung mit Hilfe der Replica-Technik beschrieben.

Sodann wird versucht, die wichtigsten Stationen des Fluors seit seiner Anwendung in der Zahnheilkunde aufzuzeigen. In den dann folgenden Versuchen mit Fluoriden zeigte sich, daß die hochkonzentrierten 8- und 10%igen SnF_2 -Lösungen starke Veränderungen an der Schmelzoberfläche hervorrufen.

Den getesteten Fermenten, Amylase, Trypsin und Pankreatin gegenüber zeigte sich die Schmelzoberfläche resistent.

Papain kann bei genügender Aktivierung eine gewisse fermentative Wirkung auf die Zahnoberfläche ausüben.

Bei den Versuchen mit Lipase dagegen stellten wir erhebliche Veränderungen an der Schmelzoberfläche fest.

Da mit relativ hohen Konzentrationen gearbeitet wurde, haben diese Ergebnisse zwar zunächst keine klinische Bedeutung, immerhin sollten sie aber bei umfangreicher klinischer Anwendung bedacht werden.

8. LITERATUR

- Abderhalden, E.: Lehrbuch der physiol. Chemie. Basel 1948.
S. 117-119 und 360-362
- Abderhalden, E.: (S. 192 ff)
- Abderhalden, E.: (S. 355-356)
- Ammon Dirscherl: Fermente, Hormone, Vitamine. Stuttgart
1959
- Armstrong, W.D. und
Brekhus, P.J.: Chemical constituents of enamel and dentin.
J. Biol. Chem. 120, 676-678 (1937)
- Baume, L.J.: Ernährungs- und Zahnverhältnisse bei 12 000
Kindern in Polynesien. Vortrag auf der Jah-
restagung der deutschen Gesellschaft für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde in Düsseldorf,
Oktober 1964
- Bramstedt, F. und
Naujoks, R.: Biochemische Kariesforschung.
Dt. Zahnärztl. Z. 17, 867-880 (1962)
- Dean, H. T. und Elvove, E.: Domestic Water and Dental Caries.
Publ. Health Rep. 56, 365-367 (1941)
- Eichler, O., Korkhaus, G.,
Sauerwein, E. und Franke, M.: Kariesprophylaxe und Sozialhygiene.
Bonn 1961, S. 30-32
- Finn, S. B. und Jamison, G.: Eine vergleichende klinische Untersuchung
von drei Zahnpasten. Zit. n. Quintessenz 6,
69-76 (1964)
- Fischer, B. und Muhler, J. G.: The effect of Sodium Fluoride upon the surface
structure of powdered dental enamel.
J. Dent. Res. 31, 751-755 (1952)
- Freiberg, K.: Zit. n. Schüle, Das Schmelzoberhäutchen.
Stuttgart 1962, S. 13
- Friedeberg, H.: Zit. n. Schüle, Das Schmelzoberhäutchen.
Stuttgart 1962, S. 13
- Friese, K.: Untersuchungen über eine zahnsteinhemmen-
de Substanz mit Hilfe von Zahnsteinträgern.
Med. Inaug. Diss. Mainz 1964
- Gustafsson, B. T.: The effect of different levels of carbohydrate
intake on caries activity in 436 individuals
for five years. Acta Odont. Scand. 11,
232-264 (1954)

- Heuser, H.: Das Initialstadium der Karies vom oberfläch-histologischen Standpunkt aus gesehen.
Dt. Zahnärztl. Z. 7, 1187-1188 (1952)
- Heuser, H.: Zur Frage der Kariesprophylaxe durch Fluor.
Dt. Zahnärztebl. 14, 419-431 (1962)
Die Rolle des Fluors in der Kariesprophylaxe.
Österr. Zschr. Stomat. 4, 130-137 (1962)
- Kästli, P.: Über die Milchfluoridierung.
Bull. Schweiz. Akad. Med. Wiss. 12, 481-486 (1956)
- Kleine, H.: Die Entstehung und Erneuerung der Nasmyth'schen Membran als Ausdruck der Vitalität des Zahnschmelzes.
Med. Inaug. Diss. Bonn 1951
- Knappwost, A.: Grundlagen der Resistenztheorie der Karies mit einem Beitrag über die karieshemmende Wirkung von peroralen Fluorgaben.
Dt. Zahnärztl. Z. 7, 670 f (1952) und
Dt. Med. Wschr. 81, 92 (1956)
- Knutson, I. W. und Scholz, G. C.: The effect of topical application of Sodium Fluoride.
Publ. Health Rep. 64, 1403-1405 (1949)
- König, K. G., Marthaler, T. M., Tierexperimentelle Karies in 10 Tagen.
und Mühlemann, H. R.: Bull. Schweiz. Akad. Med. Wiss. 12, 528-535 (1956)
- König, K. G., Marthaler, T. M., Karieshemmung durch Fluor in Wasser,
und Mühlemann, H. R.: Milch und Futter und Skelettfluorspeicherung im Rattenversuch bei Verabreichung während und nach Abschluß der Zahnentwicklung.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 70, 279-314 (1960)
- König, K. G.: Kariesprophylaxe im jugendlichen Alter.
Österr. Zschr. Stomat. 11, 396-407 (1962)
- Kutler: Zit. n. Dt. Zahnärztl. Z. 9, 23 (1954)
- Kyes, F. M., Overton, N. J. Klinische Versuche mit karieshemmenden
und McKean, T. W.: Zahnpasten.
J. A. D. A. 63, 189-193 (1961)

- Marthaler, T. M.: Kariesstatistische Resultate der Trinkwasser-fluoridierung im bleibenden Gebiß und was sie von der Salzfluoridierung erwarten lassen. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 70, 315-332 (1960)
- Marthaler, T. M.: Die Wirkung aminfluorhaltiger Zahnpasten auf den Karieszuwachs von Kindern während 18 Monaten unüberwachten Gebrauchs. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 72, 2-26 (1962)
- Meyer, W.: Histologie der Zähne und des Gebisses. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 1, 253-263 (1958)
- Meyer, W.: Strittige Fragen in der Histologie des Zahnschmelzes. Vjschr. Zahnheilk. 41, 305 (1925)
- Muhler, J. C., Radike, A. W., Nebergall, W. H. und Day, H. G.: The comparison between the anticariogenic effects of dentifrices containing Stannous Fluoride. J.A.D.A. 51, 556-560 (1955)
- Mühlemann, H. R., Schmidt, H. und König, K. G.: Enamel Solubility Reduction with Inorganic and Organic Fluorides. Helv. Odont. Acta 1, 23 ff (1957)
- Mühlemann, H. R., König, K. G., Marthaler, T. M., Schait, A. und Schmid, H.: Organische Fluoride. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 70, 1037 (1960)
- Mühlemann, H. R.: Protection of white spot enamel by different fluorides. Helv. Odont. Acta 4, 24-26 (1960)
- Mühlemann, H. R.: Über den Wettlauf verschiedener Methoden zur Fluorprophylaxe der Karies. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 72, 511-517 (1962)
- Naujoks, R.: Biochemische Aspekte der Kariesätiologie. Zahnärztl. Praxis 6, 63-64 (1964)
- Oidtman, A. M. J.: Zit. n. Stoma 9, 85 (1956)
- Pantke, H.: Die Replica-Technik. Stoma 9, 85 (1956)

- Rheinwald, U. und Staehle, G.: Untersuchungen zur Frage der Remineralisation des Schmelzes. Stoma 2, 259 (1949)
- Rickles, N.H. und Becks, H.: The effect of topical application of Sodium Fluoride on the oral flora of young adults. J.Dent.Res. 31, 94-101 (1952)
- Russel, A.L.: Die Differentialdiagnose von durch Fluorose bedingten und nichtbedingten Schmelz-opacitäten. Publ.Health Res. 21, 143-147 (1962)
- Schmidt, H.F.M.: Histologische Untersuchungen über die Tiefenwirkung neutraler Natriumfluoridlösungen am menschlichen Zahnschmelz bei kurzen Einwirkungszeiten. Dtsch.Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 10, 24-27 (1963)
- Schüle, H.: Das Schmelzoberhäutchen. Heft 12 Stuttgart 1962, S.3-28
- Schüle, H.: (S.67-70)
- Scott, D.B.: Microscopic studies of dental tissues. Oral Surg. 5, 638 ff (1952)
- Scott, D.B. und Wyckoff, R.W.G.: Shadowed replicas of tooth surfaces. Publ.Health Rep. 62, 1513-1515 (1947)
- Stephan, R.M. und Miller, B.F.: A quantitative method for evaluating physical and chemical agents which modify production of acids in bacterial plaques on human teeth. J.Dent.Res. 22, 45-51 (1943)
- Thiele, E.: Geordnete Kristallisation in ionotropen Gelen. Die Naturwissenschaften 42, 388-390 (1955)
- Wespi, H.J.: Kariesprophylaxe mit fluoriertem Salz. Bull.Schweiz.Akad.Med.Wiss. 12, 447-452 (1956)
- Wolf, J.: Über die Herstellung mikroskopischer Präparate der Oberfläche verschiedener Objekte mit Hilfe der Adhäsionsmethode. Zschr.Wiss.Mikrosk. 56, 181 (1939)

- Wolf, J.: Die Entwicklung der Nasmyth'schen Membran
im Mikroreliefbild.
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
9, 514 ff (1942)
- Wyckoff, R. W. G.: Typical structures on replicas of apparently
intact tooth surfaces.
Publ. Health Rep. 61, 696-698 (1946)
- Ziegler, E.: Über die Milchfluoridierung.
Bull. Schweiz. Akad. Med. Wiss. 12,
466-480 (1956)
- Zuber, A.: Über den Nachweis der organischen Substan-
zen im menschlichen Schmelz.
Med. Inaug. Diss. Zürich 1948

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Josef Kluczka für die Überlassung des Themas ergebenst zu danken.

Herrn Professor Dr. Dr. Peter Riethe danke ich besonders für die freundliche Hilfsbereitschaft, die er mir bei den Versuchen hat angedeihen lassen.

LEBENS LAUF

Ich, Dietrich Keßler, bin am 3. August 1931 als Sohn des Hauptlehrers Kurt Keßler und seiner Ehefrau Elly, geb. Greiner, in Finsterwalde N/L geboren.

Meine erste Schulausbildung erhielt ich in den Volksschulen von Sonnewalde und Finsterwalde. 1939 verstarb mein Vater, 1945 meine Mutter. Von 1943 bis 1953 besuchte ich die höheren Schulen in Finsterwalde, Potsdam, Graz, Marburg/Lahn und Frankfurt/Main. Am Goethe-Gymnasium in Frankfurt/Main erhielt ich im Jahre 1953 das Zeugnis der Reife.

Von 1954 bis 1956 studierte ich Zahnheilkunde an der Johann Wolfgang Goethe-Universität zu Frankfurt/Main. Von 1956 bis 1958 Naturwissenschaften ebenfalls in Frankfurt. Vom Sommer-Semester 1959 bis zum Winter-Semester 1962/63 studierte ich dann wieder Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg-Universität zu Mainz/Rhein. Hier bestand ich auch am 1. August 1963 das zahnmedizinische Staatsexamen.

